

Lehrbuch der praktischen Geologie

Konrad Keilhack

LEHRBUCH

DER

PRAKTISCHEN GEOLOGIE

LEHRBUCH

DER

PRAKTISCHEN GEOLOGIE

ARBEITS- UND UNTERSUCHUNGSMETHODEN

AUF DEM GEBIETE DER

GEOLOGIE, MINERALOGIE UND PALAEONTOLOGIE

VON

PROF. DR. KONRAD KEILHACK,
GEH. BERGRAT IN BERLIN

Mit Beiträgen von
Prof. Dr. **E. von Drygalski** in München; Prof. Dr. **E. Kaiser** in Gießen; Prof. Dr. **P. Krusch** in Berlin; Prof. Dr. **S. Passarge** in Breslau; Prof. Dr. **A. Rothpletz** in München; Prof. Dr. **K. Sapper** in Tübingen und **A. Sieberg** in Straßburg.

Zweite, völlig neubearbeitete Auflage

Mit 2 Doppeltafeln und 348 Abbildungen im Text

STUTTGART
VERLAG VON FERDINAND ENKE
1908

Druck der Union Deutsche Verlagsgesellschaft in Stuttgart.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die zweite Auflage dieses Werkes hat eine durchgreifende Neugestaltung nach Inhalt, Umfang und Anordnung erfahren. Der Umfang ist mit Berücksichtigung des vergrößerten Formates um 50 Prozent, die Zahl der Abbildungen um den gleichen Betrag von 232 auf 348 gestiegen. Der Hauptunterschied gegen die erste Auflage liegt in der Hinzuziehung einer größeren Zahl von Mitarbeitern, die teils völlig neue Gebiete behandelt, teils in der ersten Auflage bereits vorhandene Abschnitte ganz neu bearbeitet haben. Alle übrigen Teile des Werkes sind einer zum Teil weitgehenden Durcharbeitung, Verbesserung und Ergänzung unterzogen worden.

Möchte das Buch auch in seiner neuen erweiterten Form sich zahlreiche Freunde gewinnen und dem dem Verfasser vorschwebenden Ziele sich weiter genähert haben!

Wilmersdorf bei Berlin, im März 1908.

K. Keilhack.

Inhaltsverzeichnis.

Arbeiten im Felde.

A. Die geologische Kartenaufnahme.

B. Besondere geologische Beobachtungen.

D. Untersuchungsmethoden, das Wasser betreffend.

I. Offene Wasserflächen.

II. Unterirdische Gewässer.

Seite

III. Die Wasseruntersuchung.

Arbeiten im Hause.

A. Methoden der Bodenuntersuchung.

Paläontologische Methoden.

Druckfehler.

S. 187 Z. 15 v. o. und Z. 8 v. u. lies „25°" statt „30°".
S. 226 Z. 3 v. o. lies „Breslau" statt „München".
S. 322 in Formel (14) lies

$$= \frac{\cos {}^1/_2 (\varphi - \varphi')}{\sin {}^1/_2 (\varphi + \varphi')} \text{ u. s. w. statt } = \frac{\cos {}^1/_2 (\varphi - \varphi')}{\sin {}^1/_2 (\varphi - \varphi')} \text{ u. s. w.}$$

S. 327 Z. 13 v. o. lies „Jentzsch".

Die unter den Begriff „praktische Geologie" fallenden Arbeiten lassen sich zweckmäßig in solche einteilen, die im Felde ausgeführt werden, und in solche, die zur Sicherung und Erweiterung der dort gewonnenen Ergebnisse im Studierzimmer und Laboratorium zur Ausführung gelangen. Soweit es möglich war, ist im folgenden der Stoff nach diesen beiden Hauptgesichtspunkten gegliedert worden. In allen Fällen war dies nicht angängig, da z. B. bei der geologischen Kartenaufnahme die Arbeit im Felde mit derjenigen im Zimmer zu innig verknüpft ist, als daß in der Darstellung eine Zerreißung beider zulässig wäre.

Arbeiten im Felde.

A. Die geologische Kartenaufnahme.

Kapitel 1.

Die Feldausrüstung des Geologen.

Folgende Gegenstände gehören dazu:

1. Der Hammer,
2. der Kompaß mit Azimuthvorrichtung und Klinometer,
3. der Bohrer mit dem Schlegel,
4. die Lupe,
5. Blei- und Buntstifte,
6. Salzsäurefläschchen,
7. Zirkel,
8. Meßrädchen,
9. Messer,
10. Notizbuch,
11. Rucksack,
12. Karten.

Dazu kommen für bestimmte Fälle noch folgende weitere Ausrüstungsgegenstände:

13. Aneroidbarometer,
14. Horizontglas,
15. Höhenmesser,
16. Schrittzähler,
17. Taschenthermometer,
18. Krimstecher,
19. Photographischer Apparat,
20. Meißel,
21. Packpapier.

1. Der Hammer. Er muß aus vorzüglichstem Stahl gearbeitet sein und einen so großen Härtegrad besitzen, wie er sich nur immer ohne zu große Sprödigkeit erreichen läßt. Der Stiel muß aus möglichst zähem Holze (wildem Birnbaum oder amerikanischem Hickoryholze) angefertigt sein und eine Länge von etwa 40 cm besitzen. Die Form der Hämmer ist in den verschiedenen Ländern und bei den verschiedenen geologischen Schulen sehr verschieden, und jeder tut am besten, durch Probieren die ihm am meisten zusagende Hammerform zu ermitteln. Als allgemeine Regeln haben folgende zu gelten[1]): Das eine Ende des Hammers muß scharf, das andere stumpf sein; die Schneide des keilförmigen scharfen Endes kann dem Stiel parallel laufen; hat man aber viel im geschichteten Schiefergebirge zu arbeiten oder viel zu schürfen, so ist auch eine quer zum Stiele stehende Schneide ganz zweckmäßig. Auch zum Schlagen von Handstücken scheint eine querstehende Schneide geeigneter zu sein. Die Schneide muß ziemlich scharf sein, ihr Winkel darf 45° nicht überschreiten. Das stumpfe Ende muß ein rechtwinkliges Parallelepiped mit rechteckigem bis quadratischem Querschnitt sein; die längeren Seiten des Rechtecks müssen dem Stiel parallel laufen. Die Durchbohrung muß so liegen, daß der Schwerpunkt des Hammers in ihre Achse fällt und sie muß oben weiter sein als unten, damit der durch einen hölzernen oder eisernen Keilverschluß am Stiele befestigte Hammer beim Schlagen nicht abfliegen kann. Man trägt den Hammer entweder an einem ledernen, um den Leib geschnallten Gurt auf der Seite (s. auch Fig. 2), oder in zwei Riemen an der ledernen Umhängetasche, oder mit dem Stiele nach unten im hinteren Hosenbund, wo er beim Gehen so gut wie gar nicht stört. Auch zwischen zwei Knöpfen der Weste kann man wenigstens einen kleineren Hammer nach unten hindurchstecken und hat ihn dann immer bequem zur Hand.

Hat man bestimmte Zwecke im Auge, so ist es unter Umständen nötig, mehrere Hämmer mit sich zu führen. Wenn man z. B. Versteinerungen gewinnen oder eine Reihe von Handstücken schlagen will, so ist es zweckmäßig, einen größeren Hammer zum Zertrümmern größerer Gesteinsstücke bei sich zu haben. Auch ein ganz kleiner, leichter Hammer wird zum Herausklopfen kleiner Versteinerungen oft von Nutzen sein. Der Stiel des letzteren kann zur Erhöhung der Elastizität aus einem Stück Rappierklinge bestehen.

2. Der Kompaß hat mehreren Zwecken zu dienen: man stellt nicht nur im allgemeinen die Himmelsrichtung mit ihm fest, sondern bedient sich seiner auch zur Bestimmung der Richtungen des Verlaufes und der Neigung von geschichteten Gesteinen, Gängen u. a. (Streichen und Fallen, vgl. Kap. 10). Der Kompaß muß eine gewisse Größe haben, damit die Ablesungen mit möglichster Genauigkeit erfolgen können. Dazu ist ein Durch-

[1]) Richthofen, Führer für Forschungsreisende, S. 15.

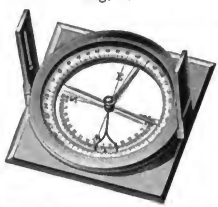
messer des Teilungskreises von wenigstens 6 cm erforderlich. Das runde Gehäuse des Kompasses muß auf einer quadratischen Messingplatte so befestigt sein, daß die Nordsüdlinie einer Seite derselben parallel läuft. Sehr zweckmäßig ist es, wenn der ganze Kompaß in einem sorgfältig gearbeiteten Holzkasten aufbewahrt ist, der in geöffnetem Zustande eine der Nordsüdlinie parallele Seitenlinie von 1—2 dcm Länge liefert. Man öffnet dann den Kasten, hält diese Seitenlinie parallel zu derjenigen Linie, deren Abweichung vom Meridian man ermitteln will, und kann nun aus der Stellung der Magnetnadel das Resultat direkt feststellen, sobald, wie beim geologischen Kompaß die Regel, Ost und West vertauscht sind. Der Teilungskreis muß in 360 Grade eingeteilt sein. Die alte bergmännische Einteilung des Kompasses in zweimal 12 Stunden allein ist heute nicht mehr sehr verbreitet, und Bezeichnungen, wie: „Streichen hora 6—7" sind in den meisten Fällen nicht mehr hinreichend genau. Vielfach sind Kompasse im Gebrauch, die sowohl die Stundeneinteilung, wie diejenige in Grade tragen. Die bergmännische Stundeneinteilung schreibt sich aus der Zeit her, als es noch keinen Kompaß gab. Damals bestimmte man die Richtung eines Ganges nach der Stunde, in welcher die Schattenrichtung dem Gange parallel lief. Mittags um 12 fällt der Schatten nach Norden, das Nordsüdstreichen heißt daher hora 12, Morgens um 6 nach Westen, daher streichen ostwestliche Gänge in hora 6. Die Stunde hat 15°, doch bedient man sich selten genauerer Bezeichnungen, als z. B. hora $6^1/_2$. Man ist übrigens bei Sonnenschein und im Besitze einer richtig gehenden Uhr jederzeit im stande, die Nordsüdlinie festzustellen und dadurch sich im Raume zu orientieren. Die Nordsüdlinie weicht von der jeweiligen Richtung des Schattens um die Hälfte des Winkels ab, den der kleine Zeiger zur Zeit der Beobachtung mit seiner Mittagsstellung bildet. Um 10 Uhr Vormittags liegt also die Nordsüdlinie so, daß sie durch die Mittellinie des Zifferblattes zwischen der 10 und 12 bezeichnet wird, wenn man den kleinen Zeiger mit der Schattenlinie zusammenfallen läßt, läuft also durch die 11 Uhr-, um 5 Uhr Nachmittags durch die $2^1/_2$ Uhr-Linie.

Will man die Richtung vom Beobachter nach einem entfernten Gegenstande hin feststellen, so bedient man sich der an einem geologischen Kompaß leicht anbringbaren Azimuthvorrichtung (Fig. 1). Diese besteht aus einem einfachen Visier zum Aufklappen, das sich aus zwei senkrecht stehenden Stäbchen zusammensetzt, von denen das eine am Südende der Gradeinteilung mit einem Schlitz, das andere am Nordende mit einem Faden versehen ist. Wenn das Instrument eine Vorrichtung zum Aufschrauben auf ein kleines Stativ besitzt, so wird die Schärfe der Beobachtung noch erhöht.

Mit dem geologischen Kompaß ist ein Klinometer verbunden; es ist das eine Vorrichtung, um die Neigung einer Fläche gegen den Horizont

zu bestimmen. Innerhalb des großen Teilungskreises ist noch ein halber Kreis von einem mit dem West- oder Ostpunkt des Kompasses zusammenfallenden Nullpunkte aus nach beiden Seiten hin in je 90° eingeteilt. Ein unter der Nadelaufhängung befestigtes bewegliches Pendel ermöglicht eine direkte Ablesung der gesuchten Neigung.

Fig. 1.



Kompaß mit Azimuth u. Klinometer.

Der Kompaß wird zweckmäßig in einer ledernen Tasche aufbewahrt, die vorn am Leibgurt befestigt ist (Fig. 2). Für unmittelbaren Handgebrauch in Fällen, wo größere Genauigkeit nicht geboten ist, tut man gut, noch einen kleinen handlichen Kompaß von Uhrform in der Westentasche bei sich zu führen.

3. Die Bohrer. Ein sehr wichtiges Ausrüstungsstück für den Geologen ist ein handlicher Bohrer. Bei Arbeiten in Gebieten mit losen, schüttigen Bildungen, also z. B. im Glazialgebiete Norddeutschlands, ist er ganz unentbehrlich, aber auch bei der geologischen Arbeit im älteren Gebirge könnte er mit gutem Erfolge weit häufiger Verwendung finden, als das bislang meistens der Fall war. Es ist nämlich möglich, bei den meisten Gesteinen

Fig. 2.



(Kreide, Sandstein, Kalkstein, Tonschiefer, Letten, Gips u. a.), die unter einer Verwitterungsrinde oder unter dünnen aufgelagerten Löß- oder Lehmdecken verborgen sind, mit Hilfe des Bohrers mit Sicherheit erkennbare Proben zu erlangen, die eine zuverlässige Beurteilung der im Untergrunde auftretenden Gesteine ermöglichen.

Nach langjährigen Versuchen haben sich bei der geologischen Landesanstalt in Berlin die nachstehend abgebildeten und beschriebenen Bohrer als die zweckmäßigsten erwiesen (Fig. 3 und 5):

Ein eiserner Stab von 1—1½ cm Durchmesser und 1, 2 oder 3 m Länge ist am unteren Ende kurz zugespitzt und oberhalb der Spitze auf einer Länge von 30 cm ausgekehlt. Der Griff ist fest mit dem Bohrer verbunden (Fig. 3) und besteht aus einem Holzstab, der in einer ringförmigen Erweiterung des oberen genügend verstärkten Bohrerendes steckt. Diese Bohrer benützt man in der Weise, daß man zunächst den 1 m-Bohrer durch gleichmäßigen Druck senkrecht bis etwas oberhalb des Löffels in den Boden hineintreibt. Dann wird der Bohrer einmal herumgedreht und herausgezogen, und mit einem Hölzchen oder einem Bleistiftende der Inhalt aus dem Löffel entfernt. Hieraus wird der Bohrer in dasselbe Loch auf zwei Drittel seiner

Fig. 3.



Einmeterbohrer.

Fig. 4.



Schlegel zum Bohren.

Länge hineingedrückt und beim dritten Male ganz. Verfährt man dann ebenso mit dem 2 und 3 m-Bohrer, so hat man in den sechs oder neun herausgeholten Proben ein vollständiges Profil bis zur Tiefe von 2 oder 3 m. Läßt sich der Bohrer durch bloßen Druck nicht tiefer in den Boden hineinbringen, so hat der Hammer in Tätigkeit zu treten. Ich habe die in Figur 4 abgebildete Form als die zweckmäßigste gefunden. Ein parallelepipedisches Stück vollkommen trockenen zähen Holzes von etwa 7×7×18 cm Seitenlänge trägt in einer ganz hindurchgehenden Durchbohrung einen Stiel, der aus einem Schlagklotz von etwa 30 cm hervorragt. Der Klotz trägt an seinen beiden Enden heiß aufgelegte eiserne Reifen, die, wenn richtig aufgelegt, einer besonderen Befestigung nicht bedürfen und ein Zersplittern des Holzes durch die zahllosen Schläge auf den verhältnismäßig kleinen Amboß des Bohrers verhindern.

Für den Gebrauch bei geologischen Reisen und in den Fällen, wo man

keinen Begleiter bei sich hat, der das Bohrzeug tragen und die Bohrungen ausführen kann, ist ein kleiner Stockbohrer mit Futteral in der nebenstehend abgebildeten Form sehr zweckmäßig. Derselbe ist bis auf den Griff ebenso eingerichtet wie der 1 m-Bohrer. Seine Länge wählt man am besten nach derjenigen eines zur eigenen Körpergröße passenden Spazierstockes. Bohrer der beschriebenen Art sind käuflich zu haben bei dem Mechaniker der geologischen Landesanstalt in Berlin, Invalidenstraße 44, und bei dem Maschinenfabrikanten Herrn Toellner in Hahnerberg bei Elberfeld.

Fig. 5.



Bohrstock.

Bei der Ausführung der Bohrungen sind noch folgende Punkte zu beobachten:

a) Die Bohrstelle muß frei von Vegetation, dürrem Laub oder staubtrockenem Boden sein, da man im ersten Falle sie oft nicht wieder findet, im letzteren durch Nachfallen von oben verunreinigte, schlecht erkennbare Proben erhält.

b) Man gewöhne sich daran, nach dem Herausziehen des Bohrers den Löffel recht sorgsam zu reinigen, da sitzengebliebene Reste, z. B. von kalkhaltigen Bildungen, bei der nächsten Bohrung leicht zu falschen Schlüssen führen können.

c) Man drehe während des Bohrens in steinigem Boden den Bohrer öfter um, um sich zu überzeugen, daß er nicht krummgebogen ist, beachte sorgsam den Ton des Hammers beim Einschlagen und lasse bei plötzlicher Änderung des Tones den Bohrer herausziehen, da dann gewöhnlich ein Stein als Hindernis vorliegt. Dieser Verdacht wird durch weißes Gesteinsmehl an der Spitze des Bohrers bestätigt. Kleine Steine lassen sich übrigens oftmals durch einige leise, vorsichtige Schläge zur Seite schieben.

d) Aus vollkommen mit Wasser durchtränkten Sanden, sowie aus groben Kiesen bringt der Bohrer keine Probe herauf.

Für die Untersuchung von Torfmooren bedient sich die geologische Landesanstalt zusammensetzbarer Peilstangen, die eine Untersuchung und Probeentnahme bis zu Tiefen von mehr als 10 m gestatten. (Vgl. das Kapitel über Torfmooruntersuchungen.)

4. Lupe. Am zweckmäßigsten ist eine Lupe von kurzer Brennweite und nicht zu kleinem Gesichtsfelde, deren Linse durch eine Messinghülse geschützt wird. Eine 2—3malige Vergrößerung genügt. Vorzüglich sind die kleinen Zeißschen Lupen, die eine bis 10fache lineare Vergrößerung ergeben, nur ist ihr Preis ein recht hoher (22 Mark).

5. Für Notizen auf der Karte sind die etwas harten Bleistifte Nr. 4 von Faber oder die Koh-i-Noorstifte H oder HH von Hardtmuth in Wien

sehr zweckmäßig, da sich damit sehr kleine Zeichen deutlich ausführen lassen und nicht leicht verwischen. Es ist aber durchaus notwendig, und man mache es sich zur strengsten Regel, die Kartennotizen so bald wie möglich, und tunlichst noch am gleichen Tage durch solche mit unverwaschbarer schwarzer oder blauer Ausziehtusche zu ersetzen. Man kann dann etwaige Zweifel an der Bedeutung eines Zeichens aus dem Gedächtnisse viel leichter lösen und läuft nicht Gefahr, durch Verwischung, Feuchtigkeit oder Schmutz die eine oder andere Notiz ganz zu verlieren. Für das Notizbuch und die Zeichnung von Profilen ist ein etwas weicherer Bleistift vorzuziehen, doch tut jeder am besten, darin seinem Geschmacke zu folgen. Zur farbigen Ausführung von Karten und Profilen dient eine Anzahl von bunten *Pastellstiften*, in möglichst deutlich unterscheidbaren Farben. Die Wahl der Farben für die einzelnen geognostischen Formationen ist an sich etwas Gleichgültiges. Doch erleichtert man sich selbst und anderen die Arbeit des Kartenlesens, wenn man an den einmal gewählten Farben dauernd festhält und von vornherein sich möglichst der für die internationale Karte von Europa festgestellten Farben bedient. Es sind das folgende:

Alluvium: blaßgrün.
Quartär: graugelb.
Tertiär: hellgelb bis dunkelgraugelb.
Kreide: gelbgrün.
Jura: blau.
Trias: violett.
Zechstein: rehbraun.
Karbon: dunkelgrau.
Devon: gelbbraun.
Silur: blaugrün.
Kambrium: graugrün.
Archäische Schiefer: hellkarmin.
Eruptivgesteine: dunkelkarmin bis orange.

Eine sehr große Auswahl von Farbstiften mit zahlreichen Farbenschattierungen liefert die Firma Großberger & Kurz.

6. Ein sehr zweckmäßiger Ausrüstungsgegenstand des Feldgeologen ist ein *Fläschchen mit Salzsäure* zur Prüfung auf Karbonate. Man bedient sich dazu zweckmäßigerweise eines Tropffläschchens von etwa 20 ccm Inhalt, welches mit einem Gemisch von 1 Teil roher konzentrierter Salzsäure und 3 Teilen Wasser gefüllt ist und in einem genau passenden Zylinder aus Hartgummi (Fig. 6) aufbewahrt wird, der durch einen aufschraubbaren Deckel verschlossen wird[1]). Man trägt das Fläschchen aufrechtstehend in einer dafür passenden Tasche, eventuell zum Schutze der Kleidung noch in Pergamentpapier eingeschlagen oder in einem Lederfutteral.

Fig. 6.



Säurebüchse.

Eine Verklemmung des Glasstopfens läßt sich durch Klopfen mit einem Schlüssel oder Messer oder in schwie-

[1]) Käuflich zu haben zum Preise von 8 Mark bei Miersch, Berlin, Friedrichstraße 66.

rigen Fällen durch Erwärmen des Flaschenhalses über einem Zündholz oder mit Hilfe eines um den Hals gelegten Bindfadens, an dem die Flasche durch rasches Hin- und Herbewegen gerieben wird, meist beseitigen. Vorbeugend wirkt eine Einfettung mit Vaselin.

7. Zum Abmessen von Entfernungen auf dem Maßstabe dient ein kleiner Taschenzirkel mit scharfen Spitzen, dessen Tastende durch eine aufzuschraubende Messinghülse vor Verletzungen geschützt wird.

8. Ein sehr nützlicher Ersatz des Zirkels ist ein Meßrädchen, wie es von Sönnecken in Bonn geliefert wird. Für den Maßstab 1:25000 bezeichnet der Abstand der Zähnchen je 100 m, eine volle Umdrehung 1 km. Mit Hilfe dieses Rädchens kann man sich leicht die zu begehenden Wege durch Einpunktierung in Strecken von je 100 m Länge einteilen.

9. Ein gutes Taschenmesser dient zum Schärfen der Stifte, zum Untersuchen der Härte von Materialien und schließlich, wenn eine seiner Klingen durch Streichen mit einem Magneten magnetisch gemacht ist, als Ersatz für einen solchen.

10. Ein Notiz- und Skizzenbuch, am besten nach der Art der von Malern benutzten, an einer Schmalseite gebundenen Bücher.

11. Ein Rucksack oder eine Umhängetasche dient zur Aufbewahrung des Proviants und einiger Ausrüstungsgegenstände, sowie zum Transport des gesammelten Materials. Nach meinen Erfahrungen ist der Rucksack unter den unzähligen verschiedenen Taschen, Ranzen, Tornistern u. s. w. für den Geologen am geeignetsten. Wer eine Tasche vorzieht, sollte mindestens eine solche Anordnung des Riemenwerkes anbringen lassen, daß die Tasche sich auch als Tornister tragen läßt. Eine mit Gesteinsproben tüchtig beschwerte Tasche auf einer Schulter zu tragen, ist auf die Dauer sehr ermüdend.

12. Von ganz außerordentlicher Wichtigkeit ist das Kartenmaterial. Es wird in Kapitel 2 eine nähere Würdigung des für die einzelnen Gebiete Deutschlands zur Verfügung stehenden Kartenmaterials gegeben werden. An dieser Stelle sei nur erwähnt, daß jeder, der sich mit geologischen Untersuchungen im Felde beschäftigt, immer die besten Karten benützen muß. Dieselben müssen auf Leinwand aufgezogen und so zerschnitten sein, daß das einzelne Schnittstück ein bequemes und handliches Format besitzt und die zusammengefaltete Karte bequem in die innere Brusttasche hineinpaßt. Bei unseren deutschen Meßtischblättern ist ein achtteiliger Schnitt (Fig. 7, links), bei den 100000teiligen Generalstabskarten

Fig. 7.

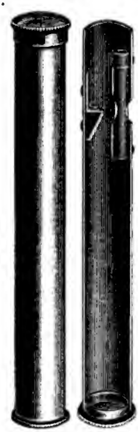


1:30. 1:12,5.

ein 6teiliger (Fig. 7, rechts) am zweckmäßigsten. Der Längen- und Böschungsmaßstab wird auf die Leinwand der Außenseite aufgeklebt, eine Kopie desselben zum Handgebrauche kann man auch am Rande der inneren Kartenseite anbringen. Die Karten werden am besten in einer festen Mappe von gleichem Formate aufbewahrt, die im Innern durch eine starke Gummischnur eine Befestigung derselben gestattet.

13. Unter den Gegenständen, die gelegentlich für den Geologen notwendig werden, ist in erster Linie ein Aneroidbarometer zu erwähnen. Wenn es sich darum handelt, an höheren Gehängen die absolute oder relative Höhe des Ausstreichens einer Schicht festzustellen und in die Karte einzutragen, wird eine barometrische Höhenbestimmung dann sich nicht umgehen lassen, wenn die Karte keine Anhaltspunkte für die Beurteilung der erlangten Höhe bietet, oder wenn das betreffende Gehänge mit Wald bewachsen ist. Das Barometer ist zweckmäßig mit doppeltem Teilkreise versehen, einem inneren, feststehenden, auf welchem der Luftdruck in Millimetern abzulesen ist, und einem äußeren, drehbaren, welcher die dem mittleren Luftdruck entsprechende Höhenskala trägt. Beide müssen mindestens einen solchen Durchmesser haben, daß man Höhendifferenzen von 5 m noch ablesen kann. Da es sich zumeist nur um den Unterschied der Höhe eines Punktes gegenüber derjenigen bekannten eines anderen Punktes handeln wird, so verfährt man so, daß man an dem Punkte bekannter Höhe den beweglichen Teilungskreis auf den augenblicklichen Barometerstand einstellt; dann kann man absolute Höhe und Höhendifferenz des gesuchten Punktes unmittelbar ablesen. Man kann die Ablesung mit Hilfe der Lupe einige Male wiederholen und aus den verschiedenen Ablesungen das Mittel nehmen.

Fig. 8.



Horizontglas.

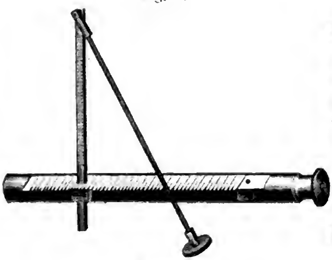
14. In vielen Fällen wird ein Horizontglas (Fig. 8) gute Dienste leisten, besonders in Gebieten, in welchen man sich mit Karten ohne Höhenlinien oder mit solchen von geringerer Zuverlässigkeit behelfen muß. Das Horizontglas ist eine ungefähr 20 cm lange Röhre, an deren einem Ende sich ein kleines rundes Visier befindet, während am anderen in der Mitte der Öffnung ein Faden gespannt ist. Durch eine prismatische Vorrichtung sieht man, wenn das Instrument genau horizontal steht und der Faden ebenso gerichtet ist, eine in einer kleinen Libelle befindliche Luftblase, sobald sie in der Mitte steht, von einem zweiten, am Prisma angebrachten

Faden durchschnitten. Der erste Faden bezeichnet alsdann den Horizont.

Man kann mit Hilfe dieses Instrumentes mancherlei wertvolle Beobachtungen machen: steht man beispielsweise auf einer alten Flußterrasse, so kann man durch das Glas die gleiche Höhe auf der gegenüberliegenden Talseite feststellen und eventuell drüben die nämliche Terrasse wieder erkennen. Ebenso ist es möglich, bei sehr schwach geneigten Schichten Richtung und Betrag der Neigung festzustellen, indem man sich mit einem Punkte einer gut erkennbaren Schicht in gleiche Augenhöhe bringt und dann ermittelt, um wieviel ein beispielsweise 12 Meter entfernter Punkt derselben Schicht höher oder tiefer liegt.

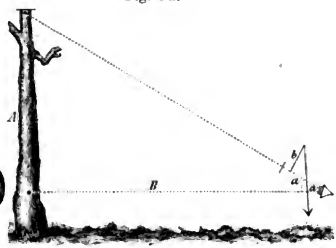
15. Für manche Zwecke ist ein H ö h e n m e s s e r (Fig. 9), wie ihn die Forst-

Fig. 9.



Höhenmesser.

Fig. 9a.



Baumhöhenmessung.

leute zur Bestimmung der Höhe von Waldbäumen benützen, zu empfehlen. Ein Messingrohr mit Visier und Fadenkreuz trägt eine gezähnte Leiste mit Halbmeterskala. Senkrecht in dieselbe läßt sich eine Metallstange mit einer Skala gleichen Maßstabes einschieben, an deren Ende ein Pendel hängt. Man schreitet nun vom Fuße des zu messenden Gegenstandes eine Strecke ab, die schätzungsweise der Höhe des zu messenden Gegenstandes entspricht[1]), beispielsweise 30 m, stellt die senkrechte Skala auf die Zahl 30 ein, visiert die Spitze des zu messenden Gegenstandes bei X-Stellung des Fadenkreuzes an, und dreht dann, während man die Spitze im Fadenkreuze behält, die Röhre so, daß das Pendel in die Zahnstange eingreift. Die an dem betreffenden Zahne stehende Zahl, vermehrt um die Augenhöhe des Beschauers, gibt die gesuchte Höhe. Die Anwendung des Instrumentes beruht auf dem Satze

[1]) Die Beobachtungsfehler sind um so kleiner, je mehr der Beobachtungswinkel sich 45° nähert.

von der Ähnlichkeit zweier Dreiecke, die in drei Winkeln übereinstimmen, wie es Figur 9a zeigt, $B:b = A:a$. Ist der Standort des Messenden tiefer, als der Fuß des Gegenstandes, so ist diese Differenz abzuziehen, ist derselbe höher, so visiert man Fuß und Spitze an und addiert beide so erhaltenen Zahlen ohne Berücksichtigung der Augenhöhe. Die Zahnstange zählt zu diesem Zwecke von dem Nullpunkte aus nach 2 Seiten[1]).

16. Ein Schrittzähler kann zur Kontrolle bei Abschreitung von Wegstrecken Verwendung finden.

17. Ein kleines Taschenthermometer in Messing- oder Nickelhülse dient zur raschen Bestimmung der Temperatur von Quellen.

18. Ein leichter, aber scharfe Bilder gebender Krimstecher ist für viele Fälle angenehm und wertvoll.

19. Ein photographischer Apparat gehört heute bereits zur notwendigen Ausrüstung eines Geologen. Er darf nicht viel Raum einnehmen und muß scharfe Bilder geben. Das Format 9×12 cm für Platten, $8 \times 10^1/_2$ cm für Films ist das empfehlenswerteste.

20. Einige kleine Meißel von hartem Stahl in verschiedener Größe werden zur Gewinnung von Petrefakten, Mineralien, Ausscheidungen aus einer glatten, größeren Felswand oft unentbehrlich sein.

21. Zur Aufbewahrung gesammelter Gesteine, Petrefakten und Mineralien dienen weiches Packpapier für widerstandsfähige Stücke, Schachteln und Glasröhren mit Wattefüllung oder eine Einhüllung in Moos für zerbrechliche, zarte Gegenstände. Näheres über die Verpackung siehe in den Schlußkapiteln.

22. Einige nur bei ganz bestimmten Gelegenheiten in Anwendung kommende weitere Hilfsmittel sind an den entsprechenden Stellen des Textes angegeben und beschrieben.

Kapitel 2.

Die topographische Kartenunterlage.

Der geologischen Aufnahmearbeit ist eine topographische Karte zu Grunde zu legen, und zwar wählt man dazu die beste, neueste und in größtem Maßstabe angefertigte Karte aus, die es für die betreffende Gegend gibt. Dieses Material ist aber für die verschiedenen Länder sehr ungleich und selbst in den einzelnen Ländern des Deutschen Reiches und den einzelnen

[1]) Beide Instrumente (14 und 15) sind bei Herrn Mechaniker Lietzmann, Kommandantenstraße 36, Berlin S, käuflich zu haben, das erste für 12 M., das zweite für 8 M.

Provinzen Preußens sehr ungleichwertig. Wie bekannt, ist der preußische Generalstab damit beschäftigt, vom ganzen Gebiete des preußischen Staates und der ihm militärisch angeschlossenen Staaten eine Aufnahme im Maßstabe von 1 : 25 000 auszuführen. Bei dieser sogenannten Meßtischblattaufnahme werden die Höhenverhältnisse durch Linien ausgedrückt, welche Punkte von gleicher Höhe miteinander verbinden. Als Nullpunkt dient ein unter der Berliner Sternwarte markierter Punkt, der als Normalnull bezeichnet wird und ziemlich genau mit dem Ostseemittelwasser übereinstimmt. Die Höhenlinien werden von 5 zu 5 m, wo es irgend möglich ist, vollständig in die Karte eingetragen, das dazwischenliegende Gelände wird, wenn es flach ist, durch Hilfslinien veranschaulicht, deren drei zwischen je zwei 5 m-Linien liegen können, so daß sie einen Abstand von je 1¼ m haben. Zur leichteren Unterscheidung sind die Höhenlinien von 20, 40, 60, 80, 100 m u. s. w. mit starken ununterbrochenen Linien, diejenigen von 10, 30, 50, 70, 90 m u. s. w. mit etwas schwächeren ununterbrochenen Linien, diejenigen von 5, 15, 25, 35 m u. s. w. Meereshöhe mit kurz unterbrochenen und die Hilfslinien zwischen den 5 m-Linien durch gestrichelte Linien ausgedrückt. Bei steileren Gehängen werden nur die Linien von 10 zu 10 m, bei sehr steilen nur die 20 m-Linien ausgezogen.

Von den seit 1873 mit Meterhöhenlinien („Schichtlinien") aufgenommenen Meßtischblättern sind bis 1. April 1907 etwa 2940 Blätter veröffentlicht, während noch etwa 642 fehlen, die auf die Provinz Ostpreußen, den größeren Teil von Westpreußen, geringe Teile von Hannover, Sachsen, Hessen-Nassau und kleine Teile der Thüringischen Staaten entfallen. Die gesamte Aufnahme Westdeutschlands wird 1907 beendet sein. 1908 werden nur noch die 100 000teiligen Blätter Einbeck und Göttingen aufgenommen. Die Arbeit in Westpreußen wird gleichzeitig begonnen. Die älteren Meßtischblattaufnahmen vor dem Jahre 1873 sind mit Höhenlinien im Abstande von 15, 25, 30 oder 50 preußischen Dezimalfuß ausgeführt und tragen zum Teil Bergschraffur, die bei den neueren Blättern nur in besonderen Fällen als Hilfsmittel zur Anwendung gelangt.

Nicht von der Kgl. Preuß. Landesaufnahme, sondern von eigenen Behörden werden die Gebiete von Baden, Württemberg, Bayern, Sachsen und Hessen-Darmstadt in 1 : 25 000 aufgenommen. Der Stand dieser Aufnahmen am Beginne des Jahres 1907 war folgender:

B a d e n ist in 170 Blättern vollständig in Stein- und Kupferdruck vorhanden.

W ü r t t e m b e r g hat von 184 Blättern 43 in dreifarbigem Kupferdruck fertig.

Von B a y e r n, aus 990 Blättern bestehend, sind 398 in Lithographie, sowie in ein- oder mehrfarbigem Druck vorhanden. Noch nicht aufgenommen ist die gesamte Pfalz.

Sachsen ist mit 156 Blättern in einfarbigem Kupferdruck ganz fertig und zurzeit in einer Neuaufnahme begriffen, von der erst ein geringer Teil fertig ist.

1 : 50 000 gibt es eine Karte des Landes um Berlin in 12 Blättern, sowie eine Anzahl Garnisonumgebungskarten, eine topographische Karte vom ehemaligen Kurfürstentum Hessen in 40 Blättern, von den hohenzollernschen Landen in 9 Blättern, alle diese vom preußischen Generalstabe herausgegeben. Nähere Auskunft über alle von der Kgl. Preuß. Landesaufnahme herausgegebenen Karten und Pläne gibt ein von der Plankammer derselben zu beziehendes Verzeichnis.

Auch von Oldenburg gibt es eine Karte von 14 Blättern in 1 : 50 000, von Württemberg und Bayern einen „topographischen Atlas“ dieser Länder in 112 resp. 55 Blättern im gleichen Maßstabe.

Für alle übrigen Gebiete, in denen die Aufnahme der Meßtischblätter noch nicht stattgefunden hat, ist man auf die Generalstabskarten 1 : 100 000 angewiesen. Diese tragen keine Höhenlinien, sondern geben das Terrain nur durch Bergschraffur und eingesetzte Höhenzahlen. Doch sind auch diese letzteren für viele Gebiete sehr spärlich. Ganz vortrefflich ist die neue „Karte des Deutschen Reiches“, die vom Generalstabe herausgegeben wird und durch Reduktion der Meßtischblattaufnahmen entsteht. Die Terraindarstellung durch Schraffur ist eine ganz vorzügliche und liefert ein ausgezeichnet plastisches Bild. Zahlreiche absolute Höhenangaben unterstützen die Darstellung der Bodenplastik. Diese Karte ist in allen 675 Blättern fertiggestellt.

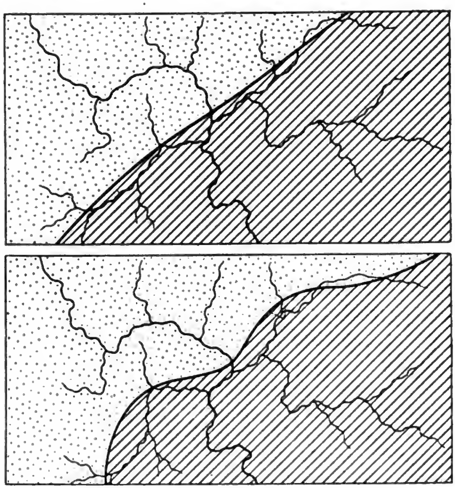
Als Übersichtskarte ist die neue „Topographische Übersichtskarte des Deutschen Reiches 1 : 200 000“ außerordentlich zu empfehlen als ein Muster klarer Darstellung. Sie ist in Dreifarbendruck und Handkolorit der Niederungen und Landesgrenzen hergestellt und gibt das Gelände durch Schichtlinien. Sie besteht aus 196 Blättern, von denen etwa die Hälfte fertig ist.

Mit kleinerem als dem zuletzt angegebenen Maßstabe zu arbeiten, wird der Geologe in Deutschland nur dann in die Lage kommen, wenn er irgend eine weit ausgedehnte Erscheinung verfolgen will, und selbst dann werden ihm die Generalstabsblätter eine willkommene Hilfe sein. Wohl aber wird ihm nur zu oft der Maßstab auch der Meßtischblätter nicht genügen und er wird danach trachten, sich eine breitere Grundlage zu verschaffen. Als solche können für viele Waldgebiete die vorhandenen Forstkarten, für das übrige Gebiet die Katasterkarten dienen, die es in verschiedenen Maßstäben von 1 : 1000 an gibt. Die Katasterämter liefern auf Antrag Kopien kleinster bis größter Stücke gegen Anrechnung mäßiger Gebühren. Diese gestatten wegen der außerordentlich sorgfältigen Darstellung der einzelnen Ackerparzellen und sonstigen Besitzgrenzen eine höchst genaue Eintragung der geologischen Beobachtungen, haben aber den Nachteil, daß die Terrain-

darstellung fehlt. Durch Vergrößerung der Höhenlinien des Meßtischblattes (vorausgesetzt, daß sie recht genau sind) und Übertragung auf das Katasterblatt kann man diesem Fehler etwas abhelfen, darf aber dabei nie vergessen, daß bei der so entstandenen neuen Karte mehrere Fehlerquellen die Genauigkeit beeinträchtigen.

Von welchem Werte eine exakte Karte für geologische Zwecke ist und wie sehr kleine Fehler derselben ein Zerrbild der geologischen Verhältnisse schaffen können, mag ein Vergleich der beiden folgenden Kärtchen lehren. Die eine Karte hat ein richtiges Flußnetz, die zweite enthält kleine Fehler,

Fig. 10.



die sich erst bei genauerer Prüfung durch geringe Abweichungen verraten. In den verschiedenen Tälern ist die Grenze zweier verschiedener Gesteine beobachtet und sorgfältig eingetragen; während aber die Verbindung der einzelnen Beobachtungspunkte im ersten Falle eine gerade Linie ergibt und uns zeigt, daß wir es mit einer steilstehenden Verwerfung zu tun haben, veranlassen die kleinen Fehler der zweiten Karte die Konstruktion einer wellig gebogenen Linie, deren Verlauf zu ganz falschen Schlüssen über die Tektonik des betreffenden Gebietes führen muß. Ähnliche Fehler können auch dadurch entstehen, daß man entlang eines nicht ganz genau ein-

getragenen Weges eine ungefähr in gleicher Richtung verlaufende geologische Grenze beobachtet und die einzelnen Grenzpunkte auf dem falsch eingezeichneten Wege einträgt und verbindet.

Kapitel 3.

Aufschlüsse.

Jede geologische Untersuchung eines Gebietes muß damit beginnen, daß der Geologe sich eine ungefähre Einsicht in die an seinem Aufbaue beteiligten Gesteine, ihre Altersverhältnisse und ihre Lagerung zu verschaffen sucht. Er gewinnt sie durch ein genaues Studium der Aufschlüsse.

Mit diesem Namen bezeichnet man alle Stellen, an denen die Gesteine der Erdrinde unverhüllt, d. h. ohne Bedeckung durch die aus ihrer Verwitterung hervorgegangenen Zersetzungsbildungen dem Auge des Beschauers sich darbieten; sie sind es, die den beobachtenden Geologen in allererster Reihe über den Bau und die Zusammensetzung des Gebietes, in welchem er tätig ist, unterrichten. Die Aufschlüsse können mannigfacher Art sein. Unter die natürlichen gehören Klippen und steile Felswände, die Flanken steil eingeschnittener Täler und Schluchten, Wasserrisse, Meeresküsten. Unter den künstlichen sind zu nennen: Tagebaue, Steinbrüche, Ton-, Mergel-, Sand- und Kiesgruben, Gräben, Wege- und Eisenbahneinschnitte, Tunnels, Brunnen, Baugruben. In Städten, wo die Bebauung der Verfolgung der geologischen Zusammensetzung ganz besondere Hindernisse in den Weg legt, kommen andere künstliche Aufschlüsse in Betracht. Hier sind alle Gelegenheiten wahrzunehmen, bei denen durch Anlagen für Wasserleitungen, Kanalisations-, Gas- und Telegraphenleitungszwecke der Untergrund der Straßen oftmals auf weite Strecken hin entblößt wird. Vielfach werden auch die unter den Häusern in das anstehende Gestein hineingearbeiteten, oft ziemlich tief reichenden Keller von Wohnhäusern oder von besonderen industriellen Anlagen, wie Brauereien und Brennereien benützt werden können. Ebenso wird innerhalb großer Städte fast immer Gelegenheit sein, beim Umbau oder Neubau von Häusern in den ausgeschachteten Baugruben den Untergrund zu studieren.

Ein schönes Beispiel dafür, was durch langjährige, sorgsame Beobachtung aller solcher gelegentlichen Aufschlüsse schließlich in Bezug auf die Kenntnis des Untergrundes einer Stadt geleistet werden kann, bietet die Arbeit von Herm. Römer über die geologischen Verhältnisse der Stadt Hildesheim, in welcher über ein dicht bebautes Gelände hinweg eine bis ins kleinste gehende Gliederung der diesen Untergrund bildenden Schichten der gesamten Juraformation durchgeführt ist.

Von sehr großem Werte für die geologische Kenntnis eines Gebietes kann es auch werden, wenn darin irgend ein Bergbau umgeht, welcher die Schichtenfolge bis zu größerer Tiefe erschlossen hat. Hier kommt zu dem, was über die Oberflächenverbreitung der Schichten bekannt wird, eine wertvolle Ergänzung nach der Tiefe, die einmal Aufschluß über das Verhalten der Gesteine in größeren, von der Verwitterung unbeeinflußten Tiefen geben, anderseits aber auch zur Kontrolle der über Tage gemachten Beobachtungen über die Tektonik dienen kann.

Von hohem Werte ist es auch, die Ergebnisse der in dem betreffenden Gebiete etwa ausgeführten Tiefbohrungen zur Wassergewinnung oder zur Erschließung nutzbarer Lagerstätten kennen zu lernen. Hat man auf Befragen Kunde davon erhalten, daß solche Arbeiten bereits ausgeführt sind, so ermittle man den Namen des betreffenden Bohrtechnikers oder Brunnenbauers und versuche, die Resultate sich zugänglich zu machen. Wenn dieselben überhaupt aufbewahrt sind, so sind sie entweder in schriftlichen Bohrregistern niedergelegt, oder es ist daneben eine Probe der verschiedenen durchsunkenen Gebirgsarten aufbewahrt. Von dem Bohrmeister allein geführte Bohrregister sind mit großer Vorsicht und viel Kritik zu benützen, da erfahrungsmäßig die petrographischen Bestimmungen solcher Leute viel oder alles zu wünschen übrig lassen. Kann man nur die Register, aber keine Proben erhalten, so ist es oft nach der Durchforschung des Gebietes möglich, die Angaben derselben durch die gemachten Beobachtungen zu kontrollieren und wenigstens mit einiger Wahrscheinlichkeit die zweifelhaften oder falschen Angaben der Bohrmeister in die geologische Terminologie zu übertragen.

Die Besichtigung und Untersuchung eines Aufschlusses erfordert außerordentliche Sorgfalt und muß sich auf eine ganze Reihe von Erscheinungen erstrecken. Es sind in einem solchen zu beobachten:

1. Die petrographische Beschaffenheit der Gesteine,
2. die Verwitterung,
3. die Fossilienführung,
4. die Lagerungsform,
5. das Auftreten nutzbarer Ablagerungen,
6. die hydrologischen Verhältnisse.

Kapitel 4.

Beobachtungen über die Gesteine des Aufschlusses in petrographischer Beziehung.

1. Die petrographische Beschaffenheit: Der Begriff „Gestein“ ist vom Geologen im weitesten Sinne zu fassen und bezeichnet jede von der Natur gebildete gleichartige Ablagerung. Es ist also ein lockerer

Dünensand ebensogut als Gestein zu bezeichnen, wie der Torf eines Hochmoors, der Schlamm eines abgelassenen Teiches und die Anhäufung zahlloser Muscheln am Strande. Man hat zu bestimmen, ob ein Gestein als Konglomerat, als Sandstein, Schiefer, Ton, Kalkstein oder Eisenstein u. s. w. zu bezeichnen ist; oder im Falle man es mit einem Eruptivgestein zu tun hat, ob ein Gestein vom Charakter eines Granites, Quarzporphyres, Trachytes, Syenites, Gabbros, Diabases oder Basaltes vorliegt, und schließlich, wenn man im Gebiete alter, metamorphischer Gesteine sich befindet, ob man es mit Gneiß, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer, Phyllit, Serpentin oder ähnlichem zu tun hat. Es ist natürlich nicht möglich, den Charakter der Gesteine und damit die Fähigkeit, diese zu unterscheiden und mit richtigem Namen zu benennen, aus Büchern zu erlernen; dazu ist vielmehr ein eingehendes Studium an der Hand einer guten Sammlung charakteristischer Gesteine in Handstücken erforderlich, und wer draußen im Felde geologische Untersuchungen anstellen will, muß mit einem gewissen Schatze von Kenntnissen aus dem Gebiete der Petrographie notwendig ausgerüstet sein. Der Geologe darf draußen für derartige Unterscheidungen sich nur der einfachsten Hilfsmittel, des Taschenmessers zur Bestimmung der Härte, einer Lupe zur Auflösung feinkörniger Mineralaggregate und einer Säureflasche zur Erkennung und Unterscheidung der Karbonate bedienen.

Es ist weiterhin in Bezug auf das petrographische Verhalten zu untersuchen, ob das Gestein sich in unverändertem Zustande befindet oder ob es durch äußere Einflüsse eine so wesentliche Umgestaltung erfahren hat, daß es als „metamorph“ zu bezeichnen ist. Wir werden bei der Besprechung der Eruptivgesteine auf diese Erscheinung noch näher zurückkommen. Bei der Untersuchung des petrographischen Verhaltens des Gesteins ist besonders darauf zu achten, ob in den Mineralassoziationen, die dasselbe zusammensetzen, sich Beimengungen finden, die durch besonders charakteristische Eigenschaften dazu dienen können, das betreffende Gestein immer wieder leicht zu erkennen und von anderen zu unterscheiden, oder ob zwischen den einzelnen übereinstimmenden Schichten irgend eine besonders auffallende, wenn auch nur ganz dünne Einschaltung mit abweichender Zusammensetzung sich einstellt. Als solche sind beispielsweise die dünnen parallelfaserigen Lagen von Cölestin anzuführen, die in einem bestimmten Niveau des unteren Muschelkalkes in Ostthüringen eine ziemliche Verbreitung besitzen und durch ihr auffälliges Äußere ohne weiteres anzeigen, in welchem geologischen Horizonte man sich befindet. In konglomeratischem Gestein finden sich häufig durch ihre Farbe oder durch ihre äußere Form oder durch ihre Härte hervortretende Rollstücke, in anderen Gesteinen Konkretionen, die gleichfalls zur weiteren Verfolgung einer Schicht sich eignen können. Dahin gehören z. B. die bunten Karneole im Vogesen-

sandstein, eigentümliche lachsfarbene Gerölle in einem bestimmten Konglomerate im Rotliegenden des Thüringer Waldes, sowie auffällige rote Feldspatgerölle in den untersten konglomeratischen Schichten des ostthüringischen Buntsandsteins.

Besonders in den jüngeren, von Flüssen abgelagerten Schottern achte man auf auffallende Gesteine, da dieselben oft dazu dienen können, etwaige Verlegungen der Flüsse nicht nur festzustellen, sondern auch genauer zu verfolgen und kartographisch zur Darstellung zu bringen.

In manchen Gesteinen finden sich als charakteristische akzessorische Bestandteile Ausscheidungen von Erzen, die gleichfalls gewöhnlich auf weite Strecken der betreffenden Schicht treu bleiben und ihre Verfolgung und Wiedererkennung sehr erleichtern. Dahin gehören beispielsweise das Kupferschieferflötz im unteren Zechstein, die Bleiglanzbänke im unteren, die Lehrbergschicht im mittleren Keuper Frankens. In den meisten Fällen sind es sulfidische Erze, die aber im Ausgehenden der Schicht oftmals verwittert sind, so daß die Kupferkiese sich dann in bereits durch die Farbe auffallenden Malachit und in Kupferlasur verwandelt haben.

In anderen Schichten wieder sind es Ausscheidungen von mehr oder weniger regelmäßiger Gestalt aus Kalk, Dolomit oder Kieselsäure in verschiedenen Modifikationen, die als akzessorische Bestandteile einer bestimmten Schicht im Aufschlusse erscheinen, bei der Verwitterung als Rückstände übrig bleiben und dann gleichfalls die Verfolgung der Verbreitung einer Schicht ermöglichen. Dahin gehören die Hornsteinknollen zahlreicher Kalke, die Dolomitknollen vieler Mergel, die bizarr geformten Feuersteine der senonen und die plattig geformten, geflammten Feuersteine der turonen Kreide, die aus Kalk oder Toneisenstein bestehenden Septarien in jüngeren jurassischen und tertiären Schichten, die Kalkkonkretionen (Lößkindel) im Löß und in ähnlichen losen Bildungen, die Erznieren in den Lebacher Schichten des Rotliegenden, die Lyditkonkretionen im Kulmkieselschiefer, die Gipsresiduen vieler Formationen u. a. m.

Kapitel 5.

Struktur und Absonderung.

In Bezug auf diesen Punkt hat sich die Untersuchung im Felde auf solche Fälle zu beschränken, in denen die Erscheinung klar und einfach zu erkennen ist, während gar vielfach der Geologe sich mit sorgsamer Aufsammlung des Materials begnügen, die eigentliche Untersuchung aber mit feineren Hilfsmitteln zu Hause ausführen muß. Bei der Arbeit im Felde wird man in Bezug auf die Struktur im wesentlichen drei Typen zu trennen

haben, nämlich: 1. kristallinische, 2. dichte und 3. klastische Gesteine.

1. Unter kristallinischen Gesteinen versteht man solche, die eine körnige Zusammensetzung zeigen, wobei die einzelnen Körner aus Mineralkristallen oder Fragmenten von solchen bestehen. Die Größe der einzelnen Körner kann dabei den stärksten Schwankungen unterliegen; es gibt grobkörnige Pegmatite, bei denen die einzelnen Mineralindividuen bis zu mehreren Metern Größe erlangen und auf viele Meter Entfernung mit bloßem Auge unterschieden werden können, und es gibt anderseits kristallinische Gesteine, in denen die Korngröße so abnimmt, daß nur das mit der Lupe bewaffnete Auge dieselben als Einzelkörner zu unterscheiden vermag. Alles, was die letztere Möglichkeit nicht mehr gewährt, ist bei der Felduntersuchung vorläufig als „dicht" zu bezeichnen. Alle kristallinischen Gesteine sind entweder massig struiert, d. h. das Gestein bietet von sämtlichen Querbrüchen aus betrachtet immer genau den gleichen Anblick, oder sie sind geschichtet, d. h. ein oder mehrere Mineralien sind durch die ganze Gesteinsmasse hin in parallelen Lagen angeordnet. Die massigen Gesteine können wiederum entweder einfach oder zusammengesetzt sein.

Die ersteren bestehen nur aus einem einzigen Mineral, zu welchem nur noch gelegentliche Übergemengteile hinzukommen, die den Charakter des Gesteins nicht weiter beeinflussen. Als Beispiele solcher Gesteine seien Marmor, Gips, Anhydrit und Steinsalz genannt. Silikatmineralien treten nur äußerst selten in dieser Weise für sich allein felsbildend auf (Granatfels, Hornblendefels).

Außerordentlich viel häufiger sind die zusammengesetzten, massigen Gesteine. Sie bestehen aus zwei oder mehreren verschiedenen Mineralien und sind in den meisten Fällen aus geschmolzenen Lösungen auskristallisiert, d. h. vulkanischen Ursprungs. An ihrer Zusammensetzung beteiligen sich in erster Reihe Quarz und Silikatmineralien, sodann eine Reihe von Eisenoxydverbindungen und von seltener auftretenden Mineralien Phosphate und Titanate. Zu diesen wichtigsten Mineralien tritt daneben allerdings noch eine außerordentliche Mannigfaltigkeit von selteneren Mineralien als unwesentlicher oder Übergemengteil. In den weitaus meisten der zusammengesetzten Eruptivgesteine spielen ein oder mehrere Feldspate eine hervorragende Rolle und dienen in der Hauptsache für die petrographische Klassifikation. Neben ihnen besitzen Mineralien der Amphibol-, Pyroxen- und Glimmerreihe, Quarz, Magneteisen, Apatit und Olivin die größte Bedeutung als Gesteinsbildner.

2. Unter dichten Gesteinen versteht man solche, bei denen das unbewaffnete Auge keine an der Zusammensetzung beteiligte Mineralassoziation mehr zu scheiden vermag; oder solche, welche aus einem einzigen

nicht kristallinisch, sondern amorph ausgebildeten Mineral bestehen. Allen gemeinsam ist die vollkommene Homogenität der Textur. Man kann nach dem äußeren Aussehen drei Gruppen der dichten Gesteine unterscheiden: a) glasige, b) hornartige und c) feinstkörnige. Die ersteren sind überwiegend Erstarrungsprodukte vulkanischer Gesteine. In gewissem Sinne gehört zu den glasig aussehenden Gesteinen auch der natürlich vorkommende Asphalt und die als Anthrazit bezeichnete Varietät der Steinkohle.

Die hornartigen Gesteine besitzen an ihrer Oberfläche auf frischen Brüchen einen eigentümlich matten Schimmer und lassen in dünnen Platten das Licht durchschimmern. Zu ihnen gehören die in vielen Gesteinen häufigen kugeligen, ellipsoidischen oder ganz unregelmäßig bizarr geformten Ausscheidungen von amorpher Kieselsäure, die als Feuerstein, Hornstein, Kalzedon u. s. w. bezeichnet werden.

Die dritte Gruppe der dichten Gesteine läßt die an der Zusammensetzung beteiligten Mineralien nicht mehr mit bloßem Auge erkennen, wohl aber aus der eigentümlichen, feinkörnigen Beschaffenheit der Oberfläche gewissermaßen ahnen. Diese dichten Gesteine finden sich als feinste Ausbildungsweise von zusammengesetzten Gesteinen und zwar sowohl von kristallinischen wie von klastischen, von geschichteten wie von eruptiven, und sind durch zahlreiche Übergänge so mit ihnen verbunden, daß es schwierig ist, in dieser Beziehung eine scharfe Grenze zu ziehen.

3. Klastische Gesteine: Zu ihnen gehört eine außerordentliche Mannigfaltigkeit von meist im Wasser gebildeten Gesteinen. Ihre charakteristische Eigenschaft besteht darin, daß die einzelnen Gemengteile, aus welchen sie zusammengesetzt sind, durch irgend ein bewegendes Agens, Wasser, Eis oder Luft, oder auch durch die Bewegung entlang einer Verwerfung (Reibungsbreccie) transportiert und an einem anderen Orte wieder abgelagert sind. Wir können die große Mannigfaltigkeit dieser klastischen Gesteine uns nach der Korngröße ordnen. Dann beginnen dieselben mit den aus hausgroßen, einzelnen Trümmern bestehenden Produkten von Bergstürzen; von diesen kommen wir durch die Packung gewaltiger Blöcke in den Endmoränen heutiger und ehemaliger Gletscher zu den Riesenkonglomeraten, wie sie die Wildbäche der Hochgebirge und die brandenden Wogen mariner Steilküsten mit sich führen und an geeigneten Orten wieder zur Ablagerung bringen. Mit der Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit mindert sich die transportierende Kraft der Gewässer und damit die Korngröße der von ihnen abgelagerten Sedimente, und wir kommen so durch grobe und feinere Konglomerate zu groben und feinen Kiesen und von diesen schließlich zu den rein sandigen Bildungen. Mehr und mehr sinkt die Korngröße, und aus feinen, schluffigen, tonigen Sanden entstehen schließlich sandige Tone, aus denen durch Zurücktreten des Sandgehaltes und Zunahme des Tones reine Tone werden. Durch Aufnahme von allerlei Bei-

mengungen können sowohl die Sande wie die Tone eine große Reihe von verschiedenartigen Typen klastischer Gesteine erzeugen. So können die Sande entweder aus einem und demselben Mineral bestehen oder es können mehrere nebeneinander vorkommen. So bestehen die Quartärsande Norddeutschlands zu vier Fünftel aus Quarz, während am letzten Fünftel sich eine außerordentliche Fülle von Mineralien beteiligt, die alle aus der Zerstörung älterer klastischer oder kristallinischer Sedimente oder Eruptivgesteine hervorgegangen sind. Dagegen bestehen die Sande der Tertiärformation fast ausschließlich aus Quarzkörnern mit Glimmer und ganz vereinzelten Bröckchen von Kieselschiefer, selten dagegen ist in ihnen, wenigstens in Norddeutschland, ein Feldspatgehalt zu beobachten, während anderseits durch Häufung von Glimmer diese Quarzsande in Glimmersande übergehen können. In manchen Abteilungen des Tertiärs, der Kreide und anderer Formationen nimmt der Quarzsand so viel Glaukonit auf, daß dieser die Farbe des Gesteins beeinflußt, so daß solche Sande alsdann als Grünsande bezeichnet werden. Wieder in anderen Formationen, beispielsweise im Keuper, Rotliegenden etc., finden sich Sandsteine, deren Material reichlichen Feldspat enthält (Arkose), und noch andere Sande oder Sandsteine bestehen vorwiegend aus kalkigem oder dolomitischem Detritus. Zu dieser im Charakter und Gestalt der einzelnen Körner liegenden Mannigfaltigkeit tritt noch weiterhin die des Bindemittels, indem nun die einzelnen Körner wieder verkittet sein können durch toniges, gipsiges, kalkiges, kieseliges, dolomitisches, mangan- oder eisenschüssiges, glaukonitisches oder kaolinisches Bindemittel.

Neben der Art ist auch die Menge des Bindemittels in klastischen Gesteinen von Belang. Dasselbe kann die Zwischenräume zwischen den einzelnen Körnern entweder vollkommen erfüllen, so daß das Gestein einen geschlossenen Eindruck macht, oder es genügt nicht zu deren Ausfüllung und das Gestein erscheint alsdann porös. Je nachdem diese kleinen Hohlräume in größerer oder geringerer Menge auftreten, spricht man von dem größeren oder geringeren Porenvolumen des Gesteins. Auch ist das letztere etwas davon abhängig, ob die Poren miteinander in Verbindung stehen oder in sich abgeschlossen sind.

Etwas weniger groß ist naturgemäß die Mannigfaltigkeit in den verschiedenen Arten der tonigen Gesteine. Diese unterscheiden sich zunächst durch die größere oder geringere Menge des mit dem Aluminiumhydroxyd (Tonerdehydrat) vikariierenden Eisenhydroxydes, sodann durch die parallele oder unregelmäßige Anordnung der Tonfragmentchen und durch die verschiedenen, durch Alter, Druck oder andere Einflüsse hervorgerufenen Härtegrade. Letztere ergeben vom plastischen Tone bis zum Phyllit der archäischen Schiefer eine fortlaufende Reihe, in welcher Letten, Schieferton und Tonschiefer Zwischenstadien darstellen. Dazu kommen dann noch

Beimengungen von kieseliger, kalkiger, dolomitischer und glaukonitischer Substanz, aus welchen die verschiedenen weiteren Arten von tonigen Gesteinen hervorgehen. Besitzen die Tone eine gewisse Härte und feinere Schichtung, so werden sie als Tonschiefer bezeichnet, wogegen der Name Ton oder Tonmergel für die loseren, unverhärteten Bildungen benützt wird.

Mit dem Aufgeführten aber haben wir noch bei weitem nicht die Reihe der klastischen Sedimente erschöpft. Es treten dazu vielmehr noch zwei außerordentlich große Gruppen, von denen die eine vulkanischen, die andere organischen Ursprungs ist. Die vulkanisch-klastischen Gesteine entstehen aus den Auswurfsprodukten der Vulkane, die nicht in Form von Lavaströmen aus dem vulkanischen Schlote hervorgehen, d. h. aus den sämtlichen lose ausgeworfenen Massen von den größten vulkanischen Bomben bis zu staubfeinen Aschen herunter. Wenn sie auf dem Festlande niederfallen, so spricht man von Ablagerungen vulkanischer Aschen und Schlacken, gelangen sie aber in das Wasser von Süßwasserseen oder des Meeres, so werden sie in demselben sedimentiert, verfestigt und erscheinen dann als sog. Tuffe, Breccien oder Schalsteine, unter Umständen auch als Konglomerate.

Tiere und Pflanzen tragen in außerordentlich hohem Maße zur Gesteinsbildung bei und liefern mit ihren bei der Verwesung übrigbleibenden Hartgebilden in vielen Fällen das Material zur Anhäufung mächtiger Massen organischer Trümmergesteine. Diese sind zum großen Teil, soweit sie tierischen Ursprungs sind, kalkiger Natur, und wir begegnen ihnen beispielsweise in den Muschelbänken an den skandinavischen Küsten, in den aus Stielgliedern von Seelilien zusammengesetzten Trochitenkalken der Trias und des Jura, in den Korallenkalken, in Muschelbreccien, in Bryozoenkalken und in vielen anderen ähnlichen Bildungen. Auch die Reste höherer Tiere können, wie beispielsweise in dem Knochenlager des Bonebed im Rhät, weit ausgedehnte, wenn auch nur gering mächtige Schichten bilden. Unter den durch die Pflanzenwelt erzeugten klastischen Gesteinen sind in erster Reihe die als Torf, Braunkohle und Steinkohle bezeichneten Anhäufungen von kohlenstoffreichen Gebilden zu nennen. Dazu treten die über weite Räume des Meeres und Süßwassers verbreiteten kieseligen Ablagerungen, die aus der Anhäufung der winzigen Schalen mikroskopischer einzelliger Algen, der Diatomeen, entstehen. Auch kalkige Bildungen werden durch pflanzliche Tätigkeit erzeugt, wofür als Beispiel die fast ganz aus kalkabsondernden Algen aufgebauten Lithothamnienkalke der Tertiärformation angeführt sein mögen.

Neben den auf der Größe und Unterscheidbarkeit der einzelnen, ein Gestein zusammensetzenden Mineralindividuen beruhenden Strukturen, kommen bei den kristallinischen Gesteinen noch eine Reihe anderer Strukturerscheinungen in Betracht.

1. Wenn die einzelnen Mineralindividuen eines Gesteines nach allen drei

Richtungen hin gleichmäßig entwickelt sind, so spricht man von gleichmäßig körniger Struktur; sie kann sowohl bei einfachen (körniger Kalk) als auch bei zusammengesetzten Gesteinen auftreten. Als Typus der letzteren Gruppe sind trotz der nicht körnigen, sondern lamellaren Ausbildung des Glimmers gewöhnlich die Granite angeführt, und man spricht darum auch häufig von der granitischen Struktur eines Eruptivgesteines.

2. Wenn in einer mehr oder weniger kristallinischen oder dichten, homogenen „Grundmasse" ein oder mehrere Mineralien auftreten, die sich durch die Größe ihrer Kristalle auffällig von denjenigen der Grundmasse unterscheiden, so bezeichnet man die Struktur des Gesteines als eine porphyrische.

3. Eine Struktur, welche zeigt, welcher Art die Bewegungen in einem glutflüssigen Eruptivgesteine im Momente des Erstarrens waren, bezeichnet man als Fluktuationsstruktur. In den meisten Fällen ist sie nur unter dem Mikroskope erkennbar an der Anordnung winziger, nadelförmiger Mikrolithen zu unregelmäßig gewundenen stromartigen Schwärmen, manchmal aber ist sie auch mit bloßem Auge sichtbar und äußert sich dann in Farbenstreifung oder stromartiger oder verworren flaseriger Anordnung tafelartiger oder leistenförmiger Mineralien. Selbst in glasigen Gesteinen kann sie durch die Verwitterung sehr deutlich in die Erscheinung treten, während sie auf dem frischen Bruche unsichtbar ist.

4. Wenn linsenförmige Massen in paralleler Anordnung ihrer Hauptachsen in großer Menge so in einem Gesteine liegen, daß die übrige Gesteinsmasse in sich immerfort gabelnden und wiedervereinigenden Lagen um diese Linsen herumzieht, wenn aber das ganze Gestein trotzdem den deutlichsten Eindruck der Schichtung macht, so bezeichnet man eine derartige, besonders bei Gneißen häufige Struktur als flaserig und unterscheidet je nach Größe, Zahl und Lage der umschlossenen Linsen die Gesteine als grob-, fein-, verworren-, schmal-, breit- etc. flaserig.

5. Wenn linear entwickelte Mineralien eines Gesteins mit ihren Hauptachsen parallel angeordnet sind, oder wenn sonst rundliche Mineralkörner eine Streckung in einer bestimmten Richtung zeigen, oder wenn Blasenräume eines Gesteines in einer bestimmten Richtung in die Länge gezogen erscheinen, so spricht man von einer linearen Parallelstruktur. Eine ähnliche, als Streckung bezeichnete Struktur liegt vor, wenn durch tektonische Kräfte ein Gestein nach einer Richtung hin gewissermaßen ausgewalzt ist, wobei Versteinerungen, Mineralien, Konkretionen, Konglomeratstücke u. s. w. eine Verzerrung nach einer Richtung hin, oftmals verbunden mit Zerreißung, erfahren haben. Diese Erscheinung pflegt man auf Karten durch ein besonderes Zeichen auszudrücken. (Vgl. die Zusammenstellung geologischer Zeichen.)

6. Wenn ein Teil der Gesteinsmasse sich um eine Anzahl von Punkten

herum entweder radialstrahlig oder konzentrisch-schalig, oder in einer Kombination beider Erscheinungen angeordnet hat, so daß daraus mehr oder weniger sphärische Formen entstehen, so nennt man eine solche Struktur bei Eruptivgesteinen eine sphärolithische und unterscheidet eine große Menge von Unterabteilungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann.

7. Wenn dieselbe Anhäufung kugelig struierter Körper bei einem im Wasser gebildeten Gesteine (meist Kalkstein oder Eisenstein) zu beobachten ist, so nennt man eine solche Struktur eine oolithische. Auch hier gibt es nach Größe und innerem Baue der einzelnen Körner wieder eine ganze Reihe von Unterabteilungen.

Eine ganz andere Erscheinung ist es, nach der wir kompakt und porös struierte Gesteine unterscheiden.

8. Bei der kompakten Struktur füllen die einzelnen Mineralien den vom Gesteine eingenommenen Raum so vollkommen, daß nicht der geringste Zwischenraum übrig bleibt.

9. Als porös bezeichnet man eine Struktur, bei welcher die miteinander verbundenen Hohlräume sich innerhalb mäßiger Größe bewegen und sehr gleichmäßig durch das Gestein verteilt sind.

10. Bei der zelligen Struktur werden sie größer, sind unregelmäßig gestaltet und besitzen meist rauhe, zerfressene, oft mit später entstandenen kleinen Kristallen überzogene Wandungen.

11. Werden die Hohlräume noch größer und unregelmäßiger, mehrere Zentimeter bis Meter groß, so nennt man die Struktur kavernös.

12. Röhrenförmige Gestalt der Hohlräume bedingt die tubulöse Struktur.

An bestimmte Partien der Eruptivgesteine sind eine Reihe von Strukturen gebunden, die durch Auftreibung der Gesteinsmasse seitens eingeschlossener Gase entstanden sind. Nach der Größe, Gestalt und Menge der so entstandenen Hohlräume unterscheidet man

13. blasige Struktur. Die Hohlräume besitzen rundliche Formen, mäßige Größe und sind immer in sehr großer Zahl vorhanden, so daß die Gesteinsmasse ihnen gegenüber oft zurücktritt.

14. Ist letzteres der Fall, und sind die Hohlräume unregelmäßig gestaltet, in die Länge gezogen oder stark gedreht, so spricht man von schlackiger Struktur.

15. Ist die Auftreibung des Gesteins so weit gegangen, daß zwischen den dem Volumen nach durchaus überwiegenden Hohlräumen nur noch ganz dünne Gesteinslamellen sich finden, so daß das Gestein also ein sehr niedriges spezifisches Gewicht besitzt, so bezeichnet man seine Struktur als eine schaumige. Ein sehr gutes Beispiel bietet der Bimsstein.

Bei vielen, zumal älteren Eruptivgesteinen sind nachträglich die Hohl-

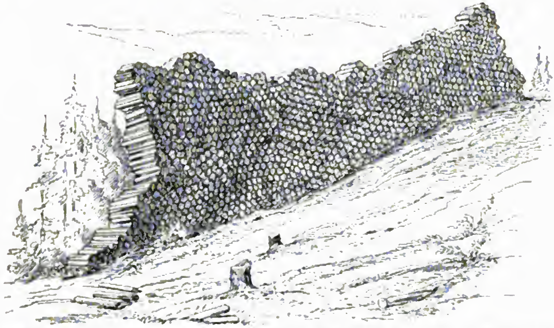
räume der unter 13. bis 15. angeführten Strukturformen durch infiltrierte Mineralien, meist Kieselsäure, Kalkspat oder Zeolith, wieder ausgefüllt, und man spricht in solchem Falle von einer

16. Mandelsteinstruktur. Bei der Verwitterung kann durch Auslaugung der Mandeln dieser Prozeß sich wieder rückwärts abspielen.

Auch bei den klastischen Gesteinen unterscheidet man einige Strukturformen nach Größe und Form der sie zusammensetzenden Bruchstücke.

1. Trümmer- oder psephitische Struktur liegt vor, wenn die einzelnen Stücke über Haselnußgröße besitzen. Bei eckigen Stücken spricht man von Breccien-, bei abgerollten von Konglomeratstruktur.

Fig. 11.



Teufelsmauer bei Oschitz in Böhmen. Ein 25 km langer, 2 m mächtiger, vielfach mauerförmig aufragender Basaltgang.

2. Sandstein- oder Psammitstruktur hat man, wenn das Gestein aus gröberen oder feineren Sandkörnern zusammengesetzt ist.

3. Schlamm- oder pelitische Struktur besitzt ein Gestein, dessen klastische Elemente kleiner als ganz feine Sandkörner sind.

Von Wichtigkeit bei den geologischen Aufnahmearbeiten ist auch das Studium der Absonderungsformen der verschiedenen Gesteine, da auch diese unter Umständen Handhaben zur Auffindung und Wiedererkennung der zu verfolgenden Schichten und Gesteine bieten können. Wenn wir zunächst von der plattigen Absonderung der geschichteten Gesteine absehen, deren wichtige Rolle an anderer Stelle erörtert ist, und uns auf die Erscheinungen beschränken, welche die massigen Gesteine uns darbieten, so ist hier in erster Reihe wieder der Granit zu nennen. Wir werden bei Besprechung des Verwitterungsganges in diesem Gestein sehen, in welcher Weise die mehr oder weniger kubischen, durch verschiedene Systeme von

Klüften erzeugten Trennungsstücke durch Verwitterung von allen Seiten her in runde, wollsackähnliche Massen verwandelt werden, die nach Fortführung der zu Grus zerfallenen Zwischenteile als Felsenmeere unserer granitischen Gebirge auf der Oberfläche liegen bleiben.

Zu den häufigsten Absonderungsformen der Eruptivgesteine gehört die Säulenform, die namentlich bei Basalten, aber auch bei Trachyten und

Fig. 12.



Fiederförmige Anordnung der Basaltsäulen des Humboldtfelsens unweit Aussig in Böhmen. Nach Photographie.

selbst bei den den letzteren nahe verwandten Quarzporphyren, wenn auch hier viel seltener, auftritt. Das ganze Gestein oder einzelne Teile desselben sind dann in ein System von Säulen verschiedenster Länge und Stärke aufgelöst. Dieselben erreichen unter Umständen 80—100 m Länge und 1—2 m Durchmesser, gehen aber auch auf die Länge und Stärke eines Fingers herab. Sie werden von 4—8, gewöhnlich aber von 6 Flächen begrenzt, so daß ein solches System von Säulen im Querschnitte den Eindruck einer riesigen Bienenwabe macht (s. Fig. 11). Die Säulen stehen immer senkrecht zu den

Abkühlungsflächen: In einem Basaltgange liegen sie horizontal, wie die Scheite einer Holzklafter, in einer Decke dagegen stehen sie senkrecht und in einer stockförmigen Masse, die sich innerhalb eines Tuffmantels gebildet

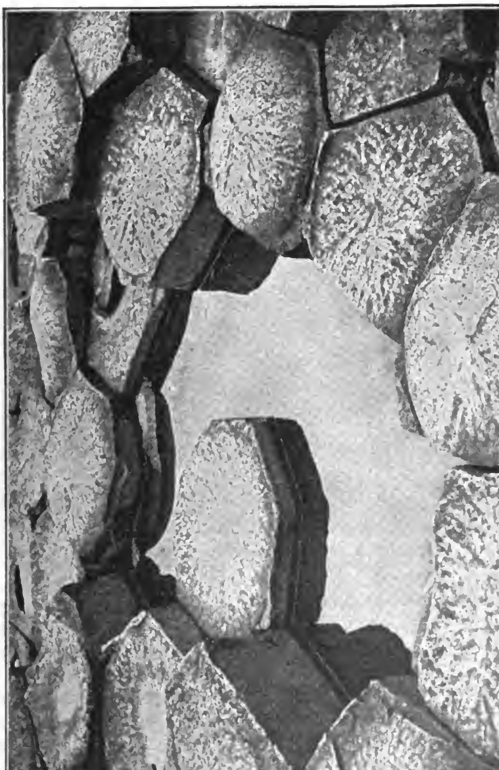


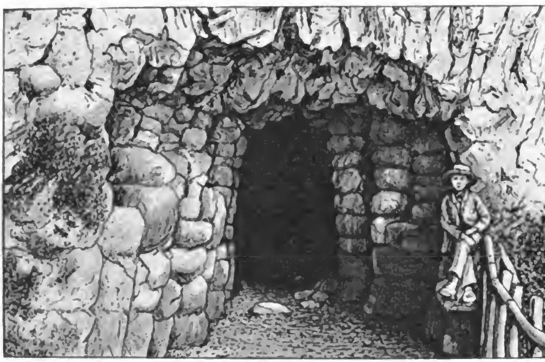
Fig. 13.

hat, verlaufen sie von der Mittelachse radial nach den Rändern; solche Stöcke bieten im Vertikalschnitte das Bild fächerförmiger Säulenstellung (s. Fig. 12). Gewöhnlich sind die Säulen durch Klüfte rechtwinklig zur Säulenachse in einzelne Stücke zerlegt. Es können dabei verschiedene

Fälle eintreten: Entweder sind die Trennungsflächen eben oder sie sind gekrümmt und zwar kommen in einem und demselben Gebiete, ja sogar in nebeneinander stehenden Säulen alle beide Formen vor; der zweite Fall kann sogar noch eine Teilung erfahren, insofern, als die Krümmung der Trennungsflächen nach unten oder nach oben hin gewölbt sein kann. Wir sehen alle drei Fälle der Säulenabsonderung in Figur 13, welche einen Teil der basaltischen Abrasionsflächen im „Giant's Causeway" im nördlichen Irland darstellt.

Die Verwitterung vermag die einzelnen Säulenstücke sowohl von den

Fig. 14.



„Käsegrotte" bei Bertrich in der Eifel. Basaltischer Lavastrom, an der Unterseite in quergegliederte Prismen gesondert. (Fig. 11, 12, 14 aus Kayser, Allg. Geologie.)

Säulenflächen, wie von den rechtwinklig dazu verlaufenden, sowie von anderen Trennungsklüften aus in Angriff zu nehmen; infolgedessen verlieren dieselben ihre scharfen Kanten, die Oberfläche des unverwitterten Gesteins, der Kern, nimmt die Form eines Ellipsoids an, die Verwitterung geht in konzentrischen Schalen vorwärts, und die Basaltsäulen werden schließlich in einzelne käseförmige Stücke verwandelt, die in hohen Stapeln übereinandergeschichtet erscheinen. Eine solche Erscheinung ist sehr schön in der „Käsegrotte" bei Bertrich in der Eifel sowie bei manchen hessischen Basaltvorkommnissen zu beobachten (s. Fig. 14).

Sehr eigentümliche Absonderungsformen besitzen die kuppenförmig auftretenden, ursprünglich höchst wahrscheinlich im Inneren eines Tuffmantels gebildeten Phonolithkegel, wie sie zahlreich im Höhgau und im böhmischen Mittelgebirge auftreten. Bei ihnen ist die Absonderung konform

der Oberfläche, und der ganze Berg besteht aus einzelnen Schalen, die wie die einer Zwiebel aufeinander liegen und übereinander hinweggreifen. Das Gestein zerfällt infolge dieser Absonderung bei der Verwitterung in lauter ebenflächige, dünnplattige Stücke.

Die kugelige Absonderungsform der Diabase wird bei der Verwitterung dieses Gesteins näher besprochen werden; sie scheint in manchen Fällen eine ursprüngliche Eigenschaft des erstarrenden Gesteins, in anderen dagegen erst eine sekundäre, an das Ausgehende geknüpfte Verwitterungserscheinung zu sein.

Kapitel 6.

Besondere Kennzeichen der Gesteine. Härte, Geruch, Gefühl, Farbe.

In beschränktem Umfange können eine Anzahl von besonderen petrographischen Merkmalen bei Bestimmung der Gesteine im Felde gelegentliche Verwendung finden.

Härte. Die verschiedene Härte der Gesteine kann, wenn sie einigermaßen beträchtlich ist, in manchen Fällen bei der einfachen Probe mit dem Messer oder ähnlichen Hilfsmitteln, die in dem Kapitel über die Härte der Mineralien besprochen sind, zur Unterscheidung ähnlich aussehender Gesteine benützt werden. Man kann auf diese Weise gewisse kieselige Gesteine durch ihre größere Härte von ähnlich aussehenden Kalksteinen, sowie den Gips vom Anhydrit, und unter Umständen auch den Kalkstein vom Dolomit unterscheiden.

Strich. Der Strich, d. h. das feine Pulver des Gesteins, welches beim Schaben mit dem Messer oder beim Reiben auf unglasiertem Porzellan, auch an Hammerschlagstellen entsteht, kann gleichfalls in manchen Fällen zur Unterscheidung einander ähnlicher Substanzen dienen. So sehen manche harten, bituminösen Tone oder Schiefer den Steinkohlen sehr ähnlich, lassen sich aber sogleich am Strich unterscheiden, indem dieser bei den ersteren dunkelbraun bis dunkelgrau, bei den letzteren dagegen glänzend schwarz ist. Ebenso kann man mit Leichtigkeit an dem kirschroten Striche den Hämatit von anderen Eisenerzen unterscheiden. Auch das beim Strich entstehende Pulver kann noch benützt werden. Manche unreinen Kalksteine beispielsweise geben mit Salzsäure behandelt so gut wie gar keine Kohlensäureentwicklung, wenn man die Säure auf das ganze Gestein tropfen läßt, während sofort eine deutliche Reaktion eintritt, wenn das fein verteilte Pulver dieser Untersuchung unterworfen wird.

Geruch. Auch der Geruch dient in manchen Fällen zur Erkennung eines Gesteins. Die diluvialen, dunkelgrauen Faulschlammkalke im norddeutschen Diluvium zeigen übereinstimmend im frischen Zustande einen aus-

gesprochen veilchenartigen Geruch. Tonige Gesteine besitzen einen ihnen eigentümlichen, erdigen Geruch, den man direkt als Tongeruch bezeichnen muß, und manche bituminösen Kalke erzeugen beim Zerschlagen, Reiben oder Schaben einen unangenehm empfundenen Geruch, nach welchem sie als Stinksteine bezeichnet werden. Auch der auffällige Schwefelwasserstoffgeruch mancher vulkanischen Produkte wäre hier zu nennen.

Gefühl. Mit Hilfe des Gefühls läßt sich manches Umwandlungsprodukt von an Magnesiasilikaten reichen Gesteinen erkennen. Solche fühlen sich eigentümlich fettig und weich an. Es gehören zu solchen Gesteinen manche Serpentine, Talk-, Glimmer- und Chloritschiefer. Das Gefühl ist auch sehr geeignet, gewisse lockere junge Bildungen voneinander zu unterscheiden. Dahin gehört die in manchen Fällen schwierige Trennung von diluvialem Geschiebelehm und Ton. Wird der erstere arm an Sand und groben Beimengungen, so ähnelt er sehr den in derselben Formation auftretenden Tonen. Durch Reiben zwischen den Fingern oder schlimmstenfalls durch Drücken zwischen den Zähnen kann man aber in den meisten Fällen noch mit Sicherheit feststellen, ob gröbere Sandkörner, wenn auch nur vereinzelt, noch vorhanden sind oder nicht, und danach den Gesteinscharakter bestimmen. Auch der Löß kann durch diese Probe vielfach von ähnlichen Gebilden unterschieden werden.

Farbe. Die Farbe der Gesteine ist zwar in vielen Fällen kein sehr charakteristisches Merkmal, kann aber doch bisweilen recht vortreffliche Dienste leisten, wenn sie einem Formationsgliede durch seine ganze Mächtigkeit und auf große, horizontale Verbreitung hin treu bleibt. In großen Verhältnissen zeigt sich diese Bedeutung der Farbe da, wo ganze Formationen durch sie charakterisiert werden. Dahin gehören beispielsweise die intensive Rotfärbung der Formationen des Rotliegenden und des Röt, sowie eines Teiles des Keupers in weiten Gebieten ihrer Verbreitung, dahin ferner die gelben Farben zahlreicher Kalksteingebirge, die bunten grünen und roten Farbentöne des Keupers, das schneeige Weiß der Kreide, die schwarzen und dunklen Farbentöne der paläozoischen Formationen bis herauf zum Karbon, die schwarzen Farben der basaltischen Gesteine und die hellgrauweißen der Trachyte und Rhyolite. Weniger charakteristisch sind die Farbenunterschiede der einzelnen Gesteinsbänke, da dieselben meist nur im Ausgehenden zu beobachten und in ihrer Intensität von dem größeren oder geringeren Grade der Verwitterung vielfach abhängig sind. Doch kann auch hier in manchen Fällen eine auffallende Farbe als Leiter für die Beurteilung der Verbreitung einer Bildung dienen. Dahin gehört z. B. das Grün, wie es in manchen Sandsteinen und Kalksteinen durch Häufung von Glaukonitkörnern oder durch oxydierte, in Malachit verwandelte Kupfererze und in manchen Eruptivgesteinen durch Vorwalten grüner Augite und Olivine oder,

wie in den sogenannten Grünsteinen (Diabasen), durch Chloritmineralien erzeugt werden kann. Mit reinen weißen Farben treten nur einige wenige, fast ganz eisenfreie Gesteine auf, wie der Marmor, die Schreibkreide, die Flaschentone des Tertiärs, der Kaolin und viele reine Quarzsande, Sandsteine und Quarzite in den verschiedensten Formationen. Die rein schwarze Farbe wird entweder durch einen Gehalt von Kohlenstoff oder bituminösen Substanzen, oder durch einen großen Reichtum an eisenreichen Verbindungen, wie Magnetit, Biotit, Hornblende und anderen erzeugt. Im ersteren Falle tritt eine Verfärbung ein, wenn das Gestein erhitzt wird, während im letzteren die dunkle Farbe meist bleibt. Dagegen erzeugt bei diesen die Verwitterung braune und dunkelgelbe Farbentöne. Überhaupt ist die braune Farbe in den weitaus meisten Fällen ein Resultat der Zersetzung eisenreicher Gesteine, kaum einmal aber ganz frischen Gesteinen eigentümlich. Die gelbe Gesteinsfarbe, die in der Natur ziemlich verbreitet ist, dürfte in den meisten Fällen auf limonitartige Eisenverbindungen zurückzuführen sein und findet sich am häufigsten in der Verwitterungsrinde von Kalksteinen und anderen eisenarmen Gesteinen, sowie in vielen Sandsteinen.

Die Erzeugung der so weitverbreiteten roten Farbentöne ist hämatit- und vielleicht auch göthitartigen Eisenverbindungen zu danken und in der Hauptsache an Sandsteine und tonig-lettige Gesteine geknüpft. Doch kommen in manchen Gegenden auch intensiv rote Kalksteine vor, z. B. im Jura der Alpen. Die rote Farbe mancher massigen Gesteine dagegen verdankt dem Vorwalten eines fleischroten Orthoklases ihre Entstehung. Dieser Orthoklasfarbenton kann als rosa bezeichnet werden, und so gefärbte Granite geben einen weißen Strich; dagegen sind viele basische Eruptivgesteine durch Eisenverbindungen, die zersetzten Augiten etc. ihren Ursprung verdanken, blutrot gefärbt und geben den andersartigen Ursprung der Farbe durch einen roten Strich zu erkennen. Von blauer Gesteinsfärbung wird oftmals in solchen Fällen gesprochen, wo tatsächlich keine Spur von Blau in der betreffenden Gesteinsfarbe steckt, wo es sich vielmehr um schwarzgraue, durch Eisenoxydulsilikate veranlaßte Färbung handelt, wie beispielsweise bei vielen völlig unverwitterten Kalksteinen, sowie in den tieferen Lagen der Grundmoränen und geschichteten tonigen Bildungen des norddeutschen Glazialgebietes. In manchen als „blau“ bezeichneten Kalksteinen rührt dieser Farbenton wohl auch von höchst fein verteiltem Schwefelkies her. Echte blaue Gesteinsfärbungen werden in der Natur wohl nur durch Vivianit und Cyanit erzeugt, während ein bläulicher Ton des Gesteins auch durch eigentümlich blauschimmernde Quarze (viele skandinavische Granite), sowie durch reichliche Beimengung von Cordierit entstehen kann. Die weiteste Verbreitung in der Natur hat die graue Farbe, die in den meisten Fällen durch Mischung der Farben mehrerer verschieden gefärbter Mineralien eines Gesteins entsteht.

Kapitel 7.

Beobachtung von Verwitterungserscheinungen.

2. Die Verwitterungserscheinungen. Da die am Aufbau der Erdkruste beteiligten Gesteine nur an verhältnismäßig wenig Stellen aufgeschlossen vor dem Auge des Geologen liegen, in weitaus überwiegenden Flächen aber nur in ihren Verwitterungsbildungen in die Erscheinung treten, so muß der Geologe, will er die Verbreitung der einzelnen Gebirgsglieder verfolgen und auf der Karte zur Darstellung bringen, sich aufs sorgfältigste mit den mannigfaltigen Beziehungen zwischen dem Gestein und dem aus ihm hervorgehenden Verwitterungsboden vertraut machen. Am günstigsten für dieses Studium sind selbstverständlich alle die künstlichen und natürlichen Entblößungen, in denen beides in unmittelbarer Überlagerung der Beobachtung zugänglich ist. Es ist an solchen Stellen zu prüfen, bis zu welcher Tiefe die Verwitterung von oben her das ursprüngliche Gestein angegriffen hat, in welcher Weise der Verwitterungsvorgang vor sich geht, welche Stoffe auf chemischem Wege entfernt wurden, welche Mineralien eine Umwandlung erfuhren, welche unlöslichen Rückstände allmählich sich anreichern und unter Umständen eine vorherrschende Rolle spielen können, welcherlei Umfärbungen im Verlaufe der Verwitterungsvorgänge eintreten, kurz, es sind alle Erscheinungen zu berücksichtigen, die weiterhin aus dem Anblicke der obersten Verwitterungsrinde einen Rückschluß auf das Gestein gestatten, aus welchem diese hervorgegangen ist. Es ist an dieser Stelle nicht möglich, die außerordentliche Fülle der Erscheinungen, welche die Verwitterung erzeugt, für die einzelnen Formationen resp. Gesteine eingehend darzustellen. Ich muß mich vielmehr begnügen, in mehr allgemeiner Weise auf eine Anzahl von Gesichtspunkten hinzuweisen und dieselben durch eine Reihe von Beispielen zu erläutern. Ich beginne mit den Sedimentärgesteinen:

Die Tonschiefer der paläolithischen Formationen liefern bei der Verwitterung im allgemeinen schwere, dem Wasser gegenüber undurchlässig sich verhaltende tonige Böden, in welchen oft die letzten Spuren von Schiefer in tonige Massen umgewandelt sind. Enthalten, wie dies häufig der Fall ist, diese Tonschiefer Einlagerungen von quarzreicheren Schiefern, sogenannten Quarzitschiefern, Serizitschiefern und anderen Gesteinen, die der Verwitterung mehr Widerstand leisten, so entstehen daraus infolge der Beimengung gröberer, unzersetzbarer Massen lockere, fruchtbarere Böden.

Solche Gesteine, wie sie namentlich im Kambrium auftreten, geben zumeist einen tonigen, feinsandigen, hellfarbigen Boden, in welchem in der Regel noch eine ziemlich große Zahl von Schieferstückchen auftritt.

Wenn auf ebenen Flächen die feinsten Verwitterungsprodukte nicht fortgeführt werden können, so schreitet die Verwitterung mehr und mehr in die Tiefe, und es können alsdann oberflächlich nur noch die reinen Quarzstücke eine Andeutung des Gesteins geben, aus welchem der ganze Boden hervorgegangen ist.

Bisweilen sind im Quarze der Gangausfüllungen Bruchstücke des Nebengesteins so vollständig eingeschlossen, daß sie dadurch vor der Verwitterung geschützt sind. In solchem Falle kann der beim Zerschlagen des Quarzes freigelegte Einschluß einen oft recht willkommenen Schluß auf das unverwitterte Gestein zulassen.

Wesentlich anders gestaltet sich dagegen die Sache an Gehängen und Berglehnen, wo durch die Regenwasser und den Wind fortdauernd die feineren Bestandteile fortgeführt werden und nur die gröberen an Ort und Stelle liegen bleiben. Hier entstehen gewöhnlich Böden, die fast ganz und gar aus kleineren Steinchen und Schieferbrocken bestehen, über dem anstehenden Gestein nur eine geringe Mächtigkeit besitzen, durchlässig und trocken sind und infolgedessen auf die Vegetation nur eine geringe Anziehungskraft ausüben können. Je reicher an quarzitischen Einlagerungen die Schiefer werden, umso ärmer an Ton, also umso magerer werden die Verwitterungsböden. Das äußerste Glied in dieser Beziehung bilden die Kieselschiefer. Diese verwittern natürlich außerordentlich schwer und zwar zunächst dadurch, daß ihr Kohlenstoffgehalt mehr und mehr oxydiert, wodurch eine Bleichung des Schiefers eintritt; sodann zersetzt sich der eingesprengte Schwefelkies in Schwefelsäure und Eisenoxyd und das Gestein nimmt graurötliche Farben an. Nach den zahlreich vorhandenen Rissen und Klüften zerfällt es in scharfkantige Stücke, die sich zum Teil sehr lange erhalten, zum Teil aber auch unter dem Einflusse der Schwefelsäure weich und mürbe werden und sich schließlich in einen feinsandigen, mageren Ton verwandeln, der gewöhnlich eine grauweiße Farbe besitzt. Diese Art der Verwitterung kann aber nur da eintreten, wo der Kieselschiefer infolge tieferer Lage dauernd der Wirkung des Grundwassers ausgesetzt ist; wo er dagegen Kuppen bildet, von denen das Wasser rasch abfließt, verwittert er durch bloßen mechanischen Zerfall zu einem äußerst unfruchtbaren, steinigen Boden.

Reine Quarzite, wie sie als Einlagerungen in den archäischen und paläolithischen, sowie manchen jüngeren Formationen (Braunkohlenformation) vielerorts vorkommen, liefern einen äußerst geringfügigen Verwitterungsboden, der fast nur aus mechanisch (durch Hitze und Frost) zertrümmerten Stücken des Untergrundes besteht und außerordentlich steril ist.

Die Grauwackengesteine, die in den älteren Formationen gleichfalls eine bedeutende Rolle spielen, liefern bei ihrer Verwitterung wiederum lehmige Böden, welche mit zahlreichen scharfkantigen, polyedrischen Stücken des ursprünglichen Gesteins durchsetzt sind.

Innerhalb der paläolithischen Schiefer finden sich häufig Einlagerungen von sogenannten Knotenkalken und Kalkknotenschiefern, die durch reihenförmig angeordnete, in die Schiefermasse eingebettete Knollen unreinen Kalkes entstanden sind. Bei der Verwitterung werden die Kalke ausgelaugt und es entsteht als Rückstand ein hochroter bis gelbbrauner Ton, welcher mit tonigem Brauneisenstein und Roteisenerz durchsprengt ist.

Die tonig-mergligen Gesteine der mesolithischen Formationen liefern schwere Böden, deren Durchlässigkeitsgrad durchaus von der Beschaffenheit und Menge der neben dem Ton im Gesteine vorkommenden kalkigen, dolomitischen oder sandigen Beimengungen abhängig ist.

Die reinen Tonmergel, wie sie beispielsweise im Keuper mächtige Schichtenkomplexe zusammensetzen, geben außerordentlich strenge, schwere Böden, die nach unten hin ganz allmählich in das ursprüngliche Gestein übergehen und bei trockener Witterung bis zu großen Tiefen aufreißen, bei nasser dagegen dem Eindringen des Wassers einen starken Widerstand entgegenstellen. Dagegen liefern die fetten Tone an sonnigen Gehängen unter Umständen auch einen feinen grusigen Boden. Mit zunehmendem Sandgehalte werden sie lockerer und durchlässiger und verlieren dann mehr und mehr die Eigenschaft, in der trockenen Jahreszeit Schwundrisse zu bilden. Manche Tonböden zeigen sogar in den verschiedenen Jahreszeiten ein verschiedenes Aussehen, indem sie im trockenen Frühjahre als Nachwirkung des sprengenden Winterfrostes ein lockeres Haufwerk kleiner loser Tonpartikelchen bilden und unter der Einwirkung der Sommerregen sich wieder in zusammenhängenden zähen Ton zurückverwandeln.

Bei der Verwitterung von Sandsteinen ist eine sehr große Mannigfaltigkeit von Erscheinungen zu beobachten, je nach dem Bindemittel, welches die einzelnen Sandkörner verkittet, und je nach der mineralogischen Zusammensetzung dieser selbst. Reine Quarzsandsteine mittleren Kornes, die durch ein kieseliges Bindemittel verbunden sind, verhalten sich den Quarziten sehr ähnlich und liefern bei der Verwitterung sterile Sandböden mit zahlreichen unzersetzten, größeren und kleineren Gesteinsstücken. Lockere Sandsteine mit kaolinigem oder tonigem Bindemittel zerfallen und bilden einen mageren, sandigen, trockenen Boden. Sind solche Sandsteine sehr feinkörnig, so können sie zu einem außerordentlich feinsandigen Boden verwittern, welcher oftmals gewissen, als Lößlehm bezeichneten diluvialen Bildungen sehr ähnlich wird und da, wo echte Lößlehmbildungen sich finden, von diesen nur schwierig zu unterscheiden ist.

Wenn solche Sandsteine dünnplattig werden und mit Einlagerungen von dünnen Ton- und Lettenbänkchen wechseln, so entstehen daraus, wie z. B. in der oberen Abteilung des Schilfsandsteins im fränkischen Keuper, tiefgründige, fruchtbare, tonige Böden. Auch kommt es in solchen Fällen vor, daß der ganze Boden so innig mit schiefrigen Sandsteinplättchen aus der-

artigen Zwischenlagerungen durchsetzt ist, daß deren Verbreitung für die Aufsuchung der geologischen Grenze mit Erfolg benutzt werden kann.

Das ist beispielsweise der Fall bei den Semionotussandsteinen des mittleren Keupers, an solchen Stellen, wo ein häufiger Wechsel dünner Sandsteinlagen mit schiefrig-tonigen Zwischenschichten sich findet.

Durch Eisenverbindungen verkittete Sandsteine verwittern in der Weise, daß das Eisen zu Eisenhydroxyd zersetzt wird, woraus ein dunkelbrauner, sandiger Verwitterungsboden entsteht, in welchem unter Umständen der Eisengehalt zu schlackenartigem Eisenerz sich anreichern kann; dieses letztere kann sogar eine nachträgliche Wiederverkittung der Sandkörner bewirken.

Sandsteine mit kalkigem oder dolomitischem Bindemittel zerfallen durch dessen Auflösung in losen Sand, dessen mehr oder weniger tonige Beschaffenheit von der Menge der den Quarzkörnern beigemengten Feldspatkörner abhängig ist. Manche Sandsteine sind reich an glaukonitischen Beimengungen; diese beeinflussen das Verwitterungsprodukt in der Weise, daß sehr fruchtbare kali- und phosphorsäurereiche, etwas tonige Böden entstehen. Sie sind gewöhnlich von gelber Farbe und bestehen aus einem mehr oder weniger kalkreichen Lehmboden, wie z. B. diejenigen der cenomanen Grünsandsteine im Königreich Sachsen. Im allgemeinen gilt für die Sandsteine, daß sie umsomehr Stücke des unverwitterten Gesteins im Verwitterungsboden enthalten, je schwerer zersetzbar ihr Bindemittel ist.

Reine Kalksteine, wie beispielsweise der Marmor, liefern bei der Verwitterung überhaupt keinen nennenswerten Rückstand. Ihre Oberfläche erscheint in eigentümlicher Weise angefressen und zernagt, wobei in kleineren oder größeren Verhältnissen rauhe Zacken und Hervorragungen sich bilden, die durch bisweilen nach unten sich erweiternde Rillen und Furchen miteinander in Verbindung stehen. In besonders großartigem Maßstabe tritt diese Verwitterung in den sogenannten Schrattenkalken des Hochgebirges ein, als deren Folge die sogenannten Karrenfelder entstehen. In den meisten Fällen aber sind die Kalksteine nicht rein, sondern führen allerlei Beimengungen, welche die Natur des entstehenden Verwitterungsproduktes im wesentlichen bedingen. Die häufigste Beimengung der Kalksteine sind tonige Substanzen, durch deren Zunahme sie allmählich in kalkreiche Mergel übergehen. Bei der Verwitterung wird der Kalk aufgelöst und fortgeführt und die tonigen Teile bleiben mit mehr oder weniger zahlreichen Bruchstücken des unverwitterten Gesteins durchsetzt übrig. So bildet der Wellenkalk des unteren Muschelkalkes einen flachgründigen Boden, der bei flacherer Neigung der Oberfläche infolge der Häufung der tonigen Teile etwas tiefer wird, an steileren Gehängen aber, wo jene vom Winde und von den Regenwassern dauernd fortgeführt werden, sehr steril

ist und fast ganz und gar aus losen, eigentümlich zerfressenen Kalksteinstücken besteht.

Die Trochitenkalke an der Basis des oberen Muschelkalkes bilden dagegen eine nur äußerst geringfügige Ackerkrume, so daß die von ihnen eingenommenen Gebiete fast immer dürre, unfruchtbare, zum Ackerbau untaugliche Flächen bilden.

Ganz anders verhalten sich die darüber und darunter lagernden, an tonigen Teilen reichen Mergel des mittleren Muschelkalkes und der Nodosenschichten. Während die ersteren zu sehr fruchtbaren, gelblichen, tonigen Massen verwittern, bilden die letzteren je nach dem Terrain flach- bis tiefgründige, tonige Ackerkrumen, welche durch einen großen Reichtum an Kalksteinstücken sich auszeichnen. Die letzteren werden oft so häufig, daß sie den Ackerbau auf dem sonst guten Boden stören und deshalb in großen Haufen auf den Feldern zusammengelesen werden.

Ganz ähnlich verhalten sich gewisse Kalke im oberen weißen Jura, die auf ebenen Hochflächen mit einem dunkelbraunen, lockeren Weizenboden bedeckt sind, wobei die Felder wie gepflastert mit weißen zerfressenen Kalksteinen erscheinen, während dieselben Schichten an Abhängen steinige, sterile Böden liefern.

Manche Kalksteine enthalten Partien, die an Eisenspat reich sind; diese liefern bei der Verwitterung den sogenannten Ockerkalk. Der die Färbung bewirkende Eisenocker ist aus der Zersetzung des Eisenspates entstanden und bleibt häufig nach Fortführung des Kalkes allein zurück. Seine intensive Farbe erleichtert beispielsweise im Thüringer Obersilur die Verfolgung des sogenannten Ockerkalkhorizontes außerordentlich.

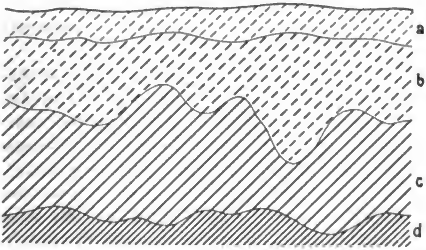
Die als Rauchwacken bezeichneten Dolomite, die besonders im mittleren Zechstein auftreten, zerfallen stellenweise, wie bei Gera, durch die Verwitterung zu einem aus lauter kleinen Bitterspatkriställchen bestehenden Dolomitgruse. Im Gestein sind diese durch ein Bindemittel von dolomitischem Kalke fest verkittet. Da nun dieser dolomitische Kalk den Atmosphärilien geringeren Widerstand bietet und seinen Kalkgehalt leichter verliert als die Bitterspatkristalle, so wird das Gestein allmählich immer dolomitischer, poröser und lockerer und zerfällt zuletzt zu dem genannten Gruse. Diese Verwitterung kann das Gestein bis zu Tiefen von mehreren Metern in ein loses Aggregat umwandeln, welches dann bisweilen in ausgedehnten Gruben zur Mörtelfabrikation ausgebeutet wird. Ähnlich verhalten sich manche Dolomitmergel des mittleren Muschelkalkes.

Auch die losen Gesteine der Quartärzeit sind weitgehenden und oftmals tief eingreifenden Einwirkungen der Verwitterung unterworfen. Der Löß verliert durch Auslaugung oft durch die ganze Schichtenmächtigkeit hindurch seinen kohlensauren Kalk und wird in sogenannten Lößlehm, in Süddeutschland „Leimen“ genannt, umgewandelt, wobei gleichzeitig einmal die

für den Löß so charakteristische Haarröhrchenstruktur verloren geht und ein strukturloser Lehm entsteht, sodann aber auch durch Oxydation der Eisenverbindungen die Farbe aus dem lichten Hellgelb in ein dunkleres Gelb bis Rotbraun sich umwandelt. Durch Humifizierung der Oberflächenschichten werden ferner viele Lösse und ähnliche Bildungen in als „Schwarzerde" bezeichnete Gesteine umgewandelt.

Auch in den glazialen Bildungen des norddeutschen Flachlandes ist die Entkalkung der ursprünglich bis an die Oberfläche mit schwankendem Kalkgehalte versehenen Gebilde die am meisten in die Augen springende Verwitterungserscheinung. Dieser Prozeß greift umsomehr in die Tiefe, je durchlässiger sich das Gestein gegenüber den Tageswassern verhält. So kommt es, daß die von Natur kalkarmen Diluvialsande oftmals in Tiefen

Fig 15.



von 5—6 m noch völlig kalkfrei erscheinen. Weniger tief pflegt die Entkalkung in den gröberen Kiesen in die Tiefe zu gehen, da diese von vornherein durch einen größeren Kalkreichtum sich auszeichnen.

Die feinkörnigen Mergelsande und die Tonmergel des Diluviums sind gewöhnlich nur in den obersten Dezimetern entkalkt und das unverwitterte Gestein beginnt selten in größerer Tiefe als 2 m.

Die Grundmoränen des norddeutschen Glazialgebietes, die Geschiebemergel, zeigen infolge ihrer komplizierteren Zusammensetzung eine große Fülle von Verwitterungserscheinungen. Die am weitesten in die Tiefe reichende ist die Oxydation der Eisenverbindungen. Während der ursprüngliche Geschiebemergel (d in Fig. 15) eine durch Eisenoxydulsalze bedingte dunkelgraue Färbung besitzt, sind die obersten 4—7 m durch deren Oxydation zu Eisenhydroxyd gelblich gefärbt (a—c). In geringere Tiefen reicht der Entkalkungsvorgang, durch welchen der Geschiebemergel in einen dunkler gefärbten gelb- bis rotbraunen Geschiebelehm (b) umgewandelt wird. Aus diesem wieder entsteht durch Zersetzung der Feld-

spate und anderer Silikate, sowie durch Fortführung der entstandenen tonigen Produkte durch das Wasser und durch den Wind ein lehmiger Sand (a), der in weiten Gebieten Norddeutschlands den Ackerboden bildet. Diese verschiedenen übereinander folgenden Verwitterungsbildungen reichen durchaus nicht gleichmäßig weit in die Tiefe, sondern erscheinen in Aufschlüssen durch wellig auf- und absteigende Linien begrenzt, wobei oft genug sackartige Einstülpungen der oberen Schicht in die untere sich beobachten lassen. Außerdem ist bei allen Diluvialbildungen die Mächtigkeit der Verwitterungsrinde regional außerordentlich verschieden. Während beispielsweise in der Mark die Verwitterung der Geschiebemergel, abgesehen von der Oxydation der Eisenverbindungen, nur die oberen 1—2 m der Schicht beeinflußt hat, schwillt z. B. in vielen Teilen Hinterpommerns diese Verwitterungsrinde auf 4—5 m an und sinkt anderseits in manchen Gegenden, beispielsweise in der Ukermark und in manchen Teilen Ost- und Westpreußens, auf weniger als $^1/_2$ m, und in gleichen Verhältnissen schwankt sie in den genannten Gebieten auch bei den geschichteten sandigen und tonigen Ablagerungen.

Auch die Eruptivgesteine zeigen, wie dies bei ihrer außerordentlich wechselnden Zusammensetzung und Struktur von vornherein zu erwarten ist, sehr bedeutsame und für die Erkennung des Ursprungsgesteins wichtige Unterschiede in der Beschaffenheit des Verwitterungsbodens.

Der in großen, gebirgsbildenden Massen auftretende Granit ist in den meisten Fällen durch mehrere einander kreuzende Systeme von Klüften in große Blöcke zerlegt, auf deren Begrenzungsflächen die atmosphärischen Wasser in die Tiefe dringen, so daß sie die einzelnen Stücke von allen Seiten her gleichmäßig angreifen können. Das Gestein wird dadurch aufgelockert und zerfällt zu einem losen, braunen Grus, in welchem die einzelnen Bestandteile und die Struktur des Gesteins oft genug noch erkannt werden können. Dieser Grus kann auf Berggipfeln vom Winde und da, wo das Gelände geneigt ist, von diesem und vom Wasser fortgeführt werden, und es bleiben alsdann die inneren, von der Verwitterung noch nicht angefressenen Teile der einzelnen Stücke als Blöcke an der Oberfläche liegen. So entstehen die bekannten Blockmeere, welche auf allen größeren Granitgebirgen in chaotischer Übereinanderhäufung die Oberfläche bedecken. Wo eine solche Fortführung des Granitgruses auf ebenem Terrain nicht möglich ist, zerfällt mit der Zeit das ganze Gestein zu diesem lockeren Haufwerke, in welchem dann nur einzelne unzersetzte Kerne noch als härteres Gestein übrig bleiben.

Andere Granite wieder, wie z. B. der Granitit der sächsischen Lausitz, zeigen eine kaolinische Verwitterung. Das Verwitterungsprodukt, welches als Kaolinton bezeichnet werden kann, ist im reinsten Zustande von fast weißer Farbe, meistens jedoch durch Eisenausscheidungen, welche dem Feldspat und Glimmer entstammen, gelb- und rotbraun gefleckt und geflammt.

Dieser Eisengehalt kann durch Anreicherung zur Bildung intensiv rotbrauner, flammiger Tone führen. Dieser nur wenig plastische Kaolin fühlt sich milde, zuweilen sogar specksteinartig an, färbt leicht ab und ist mit zahllosen kleinen Quarzkörnchen durchsetzt, die nach der Kaolinisierung des Feldspates naturgemäß übrig bleiben müssen.

Ähnlich wie der Granit verhalten sich die Quarzporphyre, bei denen gleichfalls eine Auflösung des Gesteins in seine einzelnen Bestandteile erfolgt, so daß ein grobsandiger, meist sehr steiniger und ziemlich steriler Boden entsteht.

Wesentlich anders verhalten sich die Diabase; sie verwittern überaus leicht, und das in frischem Zustande dunkel schwarzgrüne Gestein bräunt sich. Von den Klüften aus schreitet die Verwitterung oft in konzentrischen kugligen Schalen nach dem Kerne der von ihnen begrenzten Stücke hin vor, und die Schalen zerfallen schließlich in einen lehmigen, rostbraunen Grus, aus welchem ein tief rötlichbrauner, sehr warmer, lockerer Boden hervorgeht, der infolge seines Reichtums an Pflanzennährstoffen von großer Fruchtbarkeit ist. Dabei führt der Reichtum der Diabase an Eisenverbindungen oftmals zu einer Anreicherung derselben, besonders an den Grenzflächen des Gesteins, welche bis zur Entstehung abbauwürdiger Erze führen kann. Die unzersetzten Kerne liegen in diesem Grus in den meisten Fällen als kuglige Massen, können aber auch pilzförmige, wurzelförmige oder ganz bizarr gestaltete Verwitterungsreste liefern, die dann im Ausgehenden der Diabasgänge an der Oberfläche liegen und zur Verfolgung der Gänge im Felde gute Dienste leisten können. Ganz ähnlich verhalten sich viele Lamprophyre und ähnliche Gesteine.

Schlackig-porös erstarrte Diabase sind durch spätere Ausfüllung der Hohlräume durch kohlensauren Kalk in sogenannte Kalkmandeldiabase verwandelt. Bei deren Verwitterung wird dieser kohlensaure Kalk wieder ausgelaugt und das ursprüngliche Aussehen des Gesteins, abgesehen von der Farbe, wieder hergestellt. Es entstehen auf diese Weise schaumig-poröse, schlackige Gesteine, die in einzelne kleine Stücke zerfallen und dann durch ihr Aussehen fast gar nicht mehr an den Kalkmandelstein erinnern, aus dem sie entstanden sind.

Unter den jüngeren Eruptivgesteinen haben die Trachyte in ihrer Verwitterung mit den Graniten eine gewisse Ähnlichkeit, da auch sie in einen meist licht gefärbten, scharfen Grus zerfallen. Dagegen liefern die Phonolithe gewöhnlich grau bis braun gefärbte, unreine Tone, und die Basalte zerfallen zu einer gelbgrünen bis braunen und schwärzlichen, lockeren Erde von großer Fruchtbarkeit; auch wandelt der Basalt bei der Verwitterung seine tiefbraune bis schwarze Farbe in eine eigentümlich grünlich-bräunliche um, so daß er ein völlig anderes äußeres Ansehen annehmen kann.

Besonders tiefgreifend ist die Verwitterung bei den vulkanischen Tuffen

einschließlich der Diabastuffe. Diese verwittern zumeist zu tiefgründigen und wenig steinigen, lehmigen und tonigen Böden, welche fast gar keine Struktur besitzen und nur durch Studium im Aufschlusse ihre Entstehung aus dem unverwitterten Gesteine erkennen lassen.

Von hoher Bedeutung für den kartierenden Geologen sind gewisse Residualbildungen der Verwitterung. Zahlreiche Gesteine enthalten einen oder den anderen Gemengteil, der bei der Zersetzung entweder unverändert bleibt, oder neue, eigentümliche Formen annimmt. Wo das feinere Verwitterungsmaterial durch Wind und Regen weiter transportiert werden kann, bleiben diese Körper oftmals liegen und werden allmählich angereichert, so daß die früher durch eine große Schichtenmächtigkeit zerstreuten derartigen Bildungen in einer dünnen Oberflächenschicht angehäuft erscheinen. Es können an dieser Stelle nur einige charakteristische Fälle herausgehoben werden. So enthält der aus dem Schilfsandstein des fränkischen Keupers hervorgegangene Boden zahlreiche Stückchen von Roteisenstein, welche die Verfolgung des Horizontes erleichtern. Aus den unteren Letten des oberen Zechsteins in Ostthüringen wittern örtlich Nieren braunen Toneisensteins heraus, die im Ausstreichen der Schicht sich häufen. In den Letten und Mergeln des Zechsteines, Muschelkalkes und Keupers sind zahlreiche Gips- und Salzeinlagerungen vorhanden oder ursprünglich vorhanden gewesen. Vielfach sind Gips und Salz gelöst und fortgeführt, und als Rückstände ursprünglich mächtiger Einlagerungen sind eine Reihe verschiedenartiger Gesteine übrig geblieben, die bei der allmählichen Abtragung der sie einschließenden Mergel an die Oberfläche gelangen, daselbst liegen bleiben und sich häufen. Dahin gehören beispielsweise die klotzigen Massen von Zellenkalk, die in den Mergeln des mittleren Muschelkalkes sich finden, ferner Dolomitknollen, rauchwackenähnliche Dolomite, dolomitische Sandsteine und zu Quarzbreccien verkittete Quarzkriställchen, die in den Mergeln des Gipskeupers die ehemalige Existenz von Gipsschnüren und -stöcken anzeigen und ebenfalls bei der Verwitterung der Schicht an der Oberfläche angereichert sind. Dahin gehören auch die äußerst widerstandsfähigen Karneole, die für eine bestimmte Bank im Vogesensandstein charakteristisch sind und die Anwesenheit dieser Bänke durch ihre Häufung an der Oberfläche auch da verraten, wo andere Mittel zu ihrer Aufsuchung und Verfolgung versagen. Überhaupt sind es besonders Einlagerungen von amorpher Kieselsäure in Form von Kalzedon, Hornstein, Feuerstein, die am häufigsten als Verwitterungsresiduen das unterirdische Vorhandensein bestimmter Schichten anzeigen und bei deren Aufsuchung und Verfolgung wohl zu beachten sind. Hier ist auch nochmals an die Anreicherung der Trümmer von Quarzgängen und Lagern in den Verwitterungsbildungen der paläolithischen Schiefergesteine zu erinnern, die bereits oben besprochen wurde.

Oft genug auch treten eigentümliche Farbenveränderungen bei der

Verwitterung ein, die durch ihre Beeinflussung der Bodenfärbung zu wichtigen Anhaltspunkten für die Beurteilung des Untergrundes werden können.

So besitzen manche Titaneisendiabase Ostthüringens in ihrem Ausgehenden infolge der Verwitterung einen dunkel blutroten Farbenton, während, wie wir gesehen haben, die meisten übrigen Diabase durch braune Farben sich auszeichnen. — So unterscheiden sich der untere und der mittlere Buntsandstein im Thüringer Becken auf weite Strecken durch ihre Farben, indem der untere, infolge der Häufung eisenreicher Letteneinlagerungen, meist rötliche, der mittlere dagegen, in dem diese gegenüber den hellen Sandsteinbänken stark zurücktreten, lichte Farbentöne besitzt. — So konnte ferner auf Blatt Waltersdorf bei Gera die untere Stufe des Mittelrotliegenden von der Mittelstufe bei der Kartierung nach der Farbe getrennt werden, indem die Schiefertone der ersteren zu einem lebhaft gefärbten, satt roten Boden verwittern, dessen färbende Bestandteile durch Ausspülung vermittels der Regenwasser nicht beseitigt werden, wohingegen sie aus dem Boden der Mittelstufe durch das Wasser leicht ausgezogen und fortgeschwemmt werden, so daß ein heller gefärbter Boden entsteht. — So können schließlich, um noch ein Beispiel anzuführen, in Württemberg die Mergel des Keupers ganz vorzüglich nach ihrer Farbe kartographisch getrennt werden, indem nämlich die der Stufe δ einen bläulichgrünen, die von γ einen roten und schließlich die von α einen dunkelgrauen Farbenton besitzen, und zwar sowohl im ursprünglichen Gestein als auch im Verwitterungsboden.

Kapitel 8.

Beobachtungen über die Fossilienführung.

3. Die Fossilienführung. Während man in früheren Zeiten unter einem Fossil jede aus der Erde gegrabene Sache verstand, ist heute der Name beschränkt auf jedes in einer Schicht — mag sie nun von höchstem Alter oder ganz jugendlich sein — ganz oder teilweise erhaltene, ehemalige Lebewesen, gleichviel, ob dasselbe dem Tier- oder dem Pflanzenreich angehört, ob es von hervorragender Größe oder von mikroskopischer Kleinheit ist. Aber nicht nur die Reste der Körper ehemaliger Lebewesen fallen unter den Begriff der Fossilien, sondern auch alle solche Spuren, die auf ihr ehemaliges Vorhandensein hinweisen. Ein Fossil ist die Spur, welche ein schreitendes Wirbeltier mit seinem Fuße im weichen Schlamme erzeugt hat, oder diejenige, die ein Wurm, eine Muschel, ein Krebstier beim Hinkriechen über den schlammigen oder sandigen Meeresgrund hinterläßt, wenn sie uns in geologischen Schichten aufbewahrt wurde. Als ein Fossil haben wir die Spuren zu bezeichnen, durch welche Nagetiere an Früchten

der Vorzeit sich gewissermaßen verewigt haben. Ein Fossil sind die Bohrgänge, welche die Larven von Käfern in Hölzern, diejenigen anderer Insekten in Blättern karbonischer Farne erzeugt haben. Unter denselben Begriff fallen die verhärteten Exkremente von Tieren und die Löcher, welche Bohrmuscheln in treibende Hölzer oder die Gesteine der Meeresküste eingebohrt haben; ja selbst die kreisförmige Spur, welche eine vom Winde bewegte, im Sande wurzelnde Pflanze durch diese ihre Bewegung erzeugt, stellt in diesem Sinne, wenn in geologischen Schichten beobachtet, ein Fossil dar.

Die Art und Weise, wie der organische Rest erhalten ist, wie uns also die Fossilien entgegentreten, ist eine außerordentlich verschiedene. Im allgemeinen läßt sich als Regel aufstellen, daß der Versteinerungsprozeß die organische Substanz des Körpers zerstört hat, aber dieser Satz erfährt vielfach Ausnahmen. Während das Zellengewebe des tierischen Körpers fast durchweg völlig verschwunden ist und nur in den im beständigen Eisboden nördlicher Länder eingefrorenen Leichen diluvialer Tiere eine Ausnahme von allerdings kolossalem Umfange vorliegt, hat sich die Pflanzenwelt wesentlich anders verhalten, und wir beobachten in äußerst zahlreichen Fällen die Reste dieser Abteilung der Lebewesen in mehr oder weniger ursprünglichem Zustande. In den Braunkohlenhölzern beispielsweise nehmen wir nur eine durch die unendlichen Zeiträume seit ihrer Einbettung bewirkte chemische Veränderung der organischen Substanzen wahr, während ihr innerer Bau bis auf die geringsten Einzelheiten erhalten geblieben ist. Nicht direkt erhalten, aber doch in gewissen Spuren und Umrißlinien noch sichtbar, tritt uns die organische Substanz im Tierreich in einigen wenigen besonders günstigen Fällen entgegen. Hier wären zu nennen die Abdrücke von Medusen und Belemnitentieren in den lithographischen Schiefern von Solenhofen, die Erhaltung der Körperumrisse durch eine außerordentlich dünne Schicht kohliger Substanz bei manchen Individuen von Ichthyosaurus im schwäbischen Lias, vor allen Dingen aber die wunderbare Erhaltung Tausender von Insekten und anderen niederen Tieren im Bernstein und in verwandten fossilen Baumharzen. Auch bei der Einbettung der Reste in phosphorsaurem Kalke oder in Kieselgallert hat bisweilen eine Erhaltung feiner organischer Teile stattgefunden, wie z. B. die Beobachtung von zarten Borstenhärchen stecknadelkopfgroßer Entomostrazeen in Kieselmasse beweist. Von diesen Ausnahmen abgesehen aber sind es die Hartgebilde der organischen Körper, die Knochenpanzer und die verschiedenartigen inneren und äußeren Kalk- und Kieselskelette der verschiedensten Geschöpfe, die uns erhalten sind. In vielen Fällen bestehen sie auch in fossilem Zustande noch aus derselben Substanz, die das Tier ursprünglich ausschied, wie beispielsweise die Schalen von Schnecken und Muscheln in zahlreichen Ablagerungen. In vielen anderen Fällen dagegen hat eine teilweise oder

vollständige Auflösung dieser ursprünglichen Substanz stattgefunden, und an der Stelle des Fossils findet sich heute im Gestein entweder ein Hohlraum, oder es ist die gelöste Substanz oft in der vollkommensten Weise durch eine chemisch anders beschaffene ersetzt worden. Derartige Ersatzstoffe sind: Kieselsäure, die ganz besonders häufig als Versteinerungsmittel, zumal im Pflanzenreiche, auftritt (verkieselte Baumstämme), Kalkspat, der den ursprünglichen Aragonit in manchen Fällen ersetzt, Eisenspat, Schwefelkies, Flußspat, Hämatit und in sehr vielen Fällen auch mehr oder weniger reiner Phosphorit. Bei solchen Umwandlungsprozessen blieb die innere Zellen- oder andere Struktur des betreffenden Körpers entweder vollkommen und bis ins einzelne hinein erhalten oder sie ging mehr oder weniger vollständig verloren. Letzteres ist natürlich immer dann der Fall, wenn ein Hartgebilde zunächst vollständig aufgelöst und entfernt wurde und hierauf erst eine Ausfüllung des Hohlraumes durch eine andere Substanz erfolgte, während die Struktur in dem Falle erhalten blieb, daß der Austausch des gelösten durch den Ersatzstoff ganz allmählich und Zug um Zug erfolgte. In vielen Fällen ist auch der organische Rest vollkommen verschwunden, es hat kein Ersatz stattgefunden und ein Hohlraum tritt uns im Gestein entgegen, dessen Form der des verschwundenen Körpers genau entspricht. Wenn ein hohler Körper nach seiner Einbettung, wie dies meistens der Fall war, mit der Einbettungssubstanz ausgefüllt wurde und in einer späteren Zeit eine Fortführung des organischen Restes selbst stattfand, so entstand ein Hohlraum des Gesteins, innerhalb dessen der Abdruck des inneren Hohlraumes des organischen Restes als sogenannter Steinkern sich befindet. Die äußere Seite des Hohlraumes gibt uns in solchem Falle ein Spiegelbild von der Außenseite des verschwundenen organischen Restes, und der Steinkern den Ausguß des inneren Hohlraumes desselben Restes. War dagegen ein solcher hohler Körper hohl geblieben, dann ausgelaugt und hierauf der entstandene Hohlraum vollständig aufs neue ausgefüllt, so entstand gleichfalls das, was man einen Steinkern nennt, nur mit dem Unterschiede, daß er nicht den Ausguß des Körpers repräsentiert, sondern diesen selbst. Man nennt diese Art der Steinkerne, da sie die Außenskulptur des betreffenden Körpers aufs genaueste wiedergeben, Skulptursteinkerne.

Die Ausfüllungsmasse der Steinkerne sowohl wie der Skulptursteinkerne steht in den meisten Fällen in den engsten Beziehungen zu dem Gestein, in welchem sie eingebettet sind.

Der Charakter des Gesteins, in welchem die Versteinerungen liegen, ist außerdem bestimmend für die Art und Weise der Erhaltung, und es kann genau der gleiche organische Rest in ganz verschiedener äußerer Form sich darstellen, je nachdem er in dem einen oder anderen Gestein eingebettet ist. So erscheinen zahlreiche Muscheln und Schnecken in Kalk und Mergel

mit ihrer ursprünglichen Wölbung, während sie in Schiefern und ähnlichen Gesteinen in einer Ebene zusammengepreßt, zerbrochen und verdrückt erscheinen und bedeutend schwieriger zu erkennen sind. Die Fische des Kupferschieferflözes erscheinen flach gedrückt und in eine Ebene zusammengelegt, während sie in manchen Sandsteinen und in kalkigen Konkretionen mancher Schiefer plastisch erhalten sind und so herauspräpariert werden können, daß die Form des lebenden Fisches wieder sichtbar wird. Ein und dasselbe Blatt erscheint in einem feinen Tone mit den schärfsten Umrissen und mit der Wiedergabe der Nervatur bis in die äußersten Verzweigungen hinein, während es auf einem gröberen Sandstein oder in einem Konglomerate als dünner, in der Nervatur undeutlicher, in der Umrandung wenig charakteristischer Hauch erscheint.

Der Reichtum der Versteinerungen in den petrographisch verschiedenen Gesteinen ist ein außerordentlich verschiedener, aber alle Regeln, die man dafür etwa aufstellen wollte, würden nur mit zahlreichen Ausnahmen Geltung besitzen. Die meisten kristallinischen Gesteine sind vollkommen frei von Versteinerungen. Der Satz gilt aber nur, soweit diese Gesteine der archäischen Formationsreihe angehören, und auch in Bezug auf sie wird vielleicht noch die Zeit kommen, wo er seine unbedingte Gültigkeit verliert. Dagegen sind manche Gesteine zu ihrem hohen Grade von Kristallinität durch spätere Umwandlung gelangt und enthalten in solchen Fällen auch Versteinerungen, wenngleich diese gewöhnlich wenig gut erhalten und schwierig zu bestimmen sind. Es gehören dahin beispielsweise die kristallinen Schiefergesteine weiter Gebiete Norwegens, die kambrischen und silurischen Alters sind, und die hochkristallinen und mineralreichen Gesteine mesozoischen Alters (Bündner Schiefer) in den zentralen Alpen.

Der Mangel an Versteinerungen in den kristallinischen Schiefern erstreckt sich auch auf die mit ihnen wechsellagernden kalkigen und kieseligen Gesteine. Je seltener solche Reste in einer ganzen Formation sich finden, umso größer ist natürlich ihr Wert, da sie geeignet sind, über die Altersverhältnisse und die Tektonik weiter Gebiete ein bedeutsames Licht zu verbreiten. Auch reine Quarzsandsteine oder mächtige Systeme dickbankiger, roter Sandsteine (Buntsandstein) sind gewöhnlich außerordentlich arm an Versteinerungen. Anderseits gibt es Sandsteine, die sich schichtweise durch recht bedeutende und häufige Fossilführung auszeichnen, wie beispielsweise die mächtige Sandsteinfolge der sächsischen Kreide. Günstiger wird die Aussicht auf Versteinerungen, wenn die Sandsteine an Tongehalt gewinnen, dünnschichtig werden, mit reinen Lettenschichten wechsellagern und wenn gar Mergelbänke sich einstellen. Im ersteren Falle sind häufig Pflanzenabdrücke, im letzteren besonders Schalreste zu finden; größer wird gewöhnlich noch der Reichtum, wenn die Sandsteine in sandige Schiefer oder gar in Schiefertone übergehen und wenn in letzteren eine dunkle Färbung durch

Häufung bituminöser Substanzen eintritt. Dies ist gewöhnlich in Schichtenfolgen der Fall, denen Kohlenflöze eingeschaltet sind, und es sind dann die betreffenden Schichten im unmittelbaren Hangenden und Liegenden der Steinkohle gewöhnlich sehr reich an meist prachtvoll erhaltenen Abdrücken von Pflanzen, seltener von Tieren. Dagegen sind die Kohlenflöze selbst, obwohl sie ganz und gar aus organischer Substanz bestehen, arm an wohlerhaltenen Resten, und es gehören besondere, später zu besprechende Methoden dazu, um aus ihnen die organischen Reste so herauszupräparieren, daß sie der näheren Untersuchung zugänglich werden.

Kommen in dem kohlenführenden Verbande Kalksteinflöze vor, so enthalten diese häufig die Reste mariner Lebewesen, und es sind solche Funde von ganz besonderer Bedeutung, da sie genauere Anhaltspunkte über das Alter der betreffenden Flöze zu liefern vermögen. Am allerungünstigsten für die Erhaltung organischer Reste erweisen sich grobe Konglomerate, in denen fast immer nur gröbere organische Reste zu erwarten sind. So finden sich in manchen karbonischen Konglomeraten Stücke von Stämmen der damaligen Pflanzen, während Blätter und andere feinere Teile derselben Pflanzen fehlen, und auch in den jüngsten Konglomeraten unserer heutigen und der diluvialen Ströme findet man vorwiegend nur widerstandsfähige Knochen und Zähne großer Säuger. Für die Häufigkeit oder Seltenheit von Versteinerungen in den paläozoischen Tonschiefern lassen sich kaum irgendwie bestimmte Regeln aufstellen: während einerseits mächtige Folgen derselben so gut wie ganz frei von Versteinerungen sind, häufen sie sich in anderen Schichtenabteilungen (devonische Tentakulitenschiefer, silurische Graptolithenschiefer) so an, daß man an manchen Stellen keine Platte spalten kann, ohne auf den betreffenden Flächen den genannten Resten zu begegnen.

Sehr verschieden ist auch das Verhalten der Kalksteine; rein kristalline Kalke sind gewöhnlich arm an Versteinerungen, oder wenn sie solche enthalten, so sind sie durch den Prozeß des Kristallinischwerdens des Gesteins so umgewandelt, daß man sie im Querbruch des Gesteins durchaus nicht oder nur höchst undeutlich zu erkennen vermag. In solchen Fällen hilft aber die Natur selbst wieder, sie uns deutlicher zu machen, indem durch den Kristallisationsprozeß hindurch gewisse Eigentümlichkeiten in der Substanz der organischen Reste sich erhalten haben, die diese den Angriffen der Atmosphärilien gegenüber widerstandsfähiger machen. Wenn die fortschreitende Verwitterung das Gestein angreift, so treten die eingeschlossenen Versteinerungen auf der Verwitterungsoberfläche allmählich reliefartig wieder heraus, und ein Gestein, auf dessen Bruchflächen fast nichts zu erkennen war, erweist sich nunmehr als zusammengesetzt aus Massen von Korallen, oder es führt zahlreiche Brachiopoden, oder besteht aus den Stielgliedern und vereinzelten Kelchen von Crinoiden, oder es

treten große Cephalopoden aus ihm heraus. Ganz ähnlich wie solche Kalksteine verhalten sich viele Dolomite, die nichts anderes sind als veränderte, ehemalige Korallenriffe. Auch auf ihrer Oberfläche werden die Versteinerungen durch die Atmosphärilien gewissermaßen herausgeätzt, und der auf Versteinerungen fahndende Geologe muß diesen Umstand in den Fällen benutzen, in denen ihm solche kristallinen Kalke oder Dolomite in mächtigen Stöcken begegnen. Stundenlanges Absuchen der etwa in einem Steinbruche gewonnenen Bau- oder Bruchsteine kann in solchen Fällen vollkommen ergebnislos sein, während die Untersuchung der Verwitterungsflächen, des auf die Halde gestürzten Abraumes oder der am Fuße einer Klippe liegenden, herabgestürzten und seit langer Zeit der Verwitterung ausgesetzten Blöcke oder der Lesesteine im Felde in kurzer Zeit eine Ausbeute zu liefern vermag. — Viel reicher an Versteinerungen wird der Kalkstein und viel besser zu gewinnen sind diese, wenn reichliche tonige Beimengungen sich einstellen und das Gestein einen mergeligen Charakter annimmt. Daher kommt es, daß mergelartige Bänke zwischen reinen Kalksteinen oftmals voll von Versteinerungen sitzen, während in ihrem Hangenden und Liegenden keine Spur zu entdecken ist.

Ganz besonders muß noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß konkretionäre Bildungen in sehr vielen Fällen versteinerungsreich sind, während das Gestein, in welchem sie liegen, entweder ganz frei davon, oder wenigstens arm daran ist. So sitzt z. B. fast der ganze Versteinerungsreichtum gewisser schwarzer Schiefer in den Goldlauterer Schichten des Thüringer Rotliegenden in flach linsenförmigen Konkretionen, welche in vielen Tausenden im Gestein stecken und beim Zerschlagen in ihrem Innern den organischen Rest, einen kleinen Fisch oder einen Teil eines größeren Fisches oder Exkremente oder etwas Ähnliches enthalten. Hier wären auch als Beispiel die an Fischresten so reichen Toneisensteinknollen der Lebacher Schichten des mittleren Rotliegenden zu nennen.

Bekannt ist der Versteinerungsreichtum der fast ganz aus Muscheln und Schnecken bestehenden Sternberger Kuchen, die voraussichtlich nichts anderes sind, als konkretionäre Bildungen in einem versteinerungsarmen oder durch Auflösung der Schalen seines Fossiliengehaltes verlustig gegangenen Tertiärsande. Ganz ähnlich verhält es sich mit den an Ammoniten reichen Kalkkonkretionen, die in Tonen liassischer Schichten sich finden, oder mit den zahlreichen Toneisensteinkugeln, die im mitteloligozänen Stettiner Sande liegen und fast immer eine Muschel oder eine Schnecke oder ein Fragment eines Krebses oder Fisches enthalten. Auch in den Kalkknotenschiefern der Devonformation finden sich die organischen tierischen Reste gewöhnlich nur in den Kalkknollen. Die Ursache dieser Erscheinung liegt natürlich darin, daß die organische Substanz des verwesenden Tieres eine gewisse chemische Umsetzung veranlaßt hat, durch welche die Konkretion

entstand, so daß die letztere nur eine Wirkung des in ihr eingeschlossenen Körpers darstellt.

Die Produkte des Vulkanismus enthalten natürlich nur in dem Falle organische Reste, daß sie im Wasser abgelagert wurden. Man wird nach ihnen also auch nur in den sogenannten Tuffen zu suchen haben, wobei zu bemerken ist, daß solche Tuffe oft auf größere Strecken hin vollkommen versteinerungsleer sind, während an anderen Stellen wieder in großer Häufung organische Reste zu beobachten sind.

Die Versteinerungen, die der Geologe innerhalb der von ihm untersuchten Schichten findet, lassen eine ganze Reihe von Benutzungen zu, von denen bei der Kartierung diejenige zur Bestimmung des relativen Alters der Schichten die wichtigste ist; denn das ganze System der geologischen Chronologie beruht fast ausschließlich auf den verschiedenen Gesellschaften von Lebewesen, die seit der Bewohnbarkeit der Erde einander gefolgt sind und die, wenn auch äußerst lückenhaft, in ihren Resten uns in den Versteinerungen erhalten sind. Es ist für den Geologen bei der Aufnahme weit weniger wichtig, von vornherein genau alle Namen und Verwandtschaftsbeziehungen der aufgefundenen organischen Reste zu kennen, als die geologische Seite des Stoffes zu beherrschen, also die Identität von Versteinerungen an verschiedenen Orten festzustellen und daraus auf die Gleichaltrigkeit der sie einschließenden Schichten zu schließen. Damit soll selbstverständlich nicht gesagt sein, daß es nicht von Vorteil wäre, die systematischen Beziehungen und die Namen wenigstens der wichtigsten, der sogenannten Leitfossilien für die in dem Untersuchungsgebiete auftretenden oder zu erwartenden Formationen oder ihre Unterabteilungen zu kennen.

Außer zur Altersbestimmung können die Versteinerungen benutzt werden zur Erkenntnis klimatischer Veränderungen, zur Rekonstruktion vergangener geographischer Verhältnisse, zur Feststellung von Bewegungen der Erdkruste und zur Auffindung bestimmter, geologischer Horizonte, die zur Erkennung der Tektonik dienen können.

Was den ersten Punkt anbetrifft, so sind es besonders die jüngsten Ablagerungen, deren organische Reste, weil sie direkt mit den heutigen vergleichbar sind, die zuverlässigsten Schlüsse darüber zulassen, ob zur Zeit ihrer Einbettung ein milderes oder ein kälteres Klima an der betreffenden Stelle geherrscht hat, wie heute. So lehrt uns die Flora der ältesten Interglazialbildungen, daß zu jener Zeit ein wärmeres Klima herrschte wie heute, während wir anderseits durch die Funde einer arktisch-borealen Pflanzengenossenschaft an vielen Stellen im Diluvium Nord- und Mitteldeutschlands zu dem Schlusse berechtigt werden, daß zur Zeit ihrer Ablagerung unser Vaterland die klimatischen Verhältnisse eines polaren Landes mit niedriger Temperatur aufwies. Je weiter zurück aber, je mehr ver-

schieden von den heutigen die aufgefundenen Lebewesen dastehen, umso unzuverlässiger werden die Schlüsse auf das Klima jener Zeit. Schon die Glazialzeit zeigt uns, daß nahe Verwandte von Geschöpfen, die heute ausschließlich die Tropen bewohnen, im kalten Norden ihre Heimat hatten, wie das Mammut und das wollhaarige Rhinozeros, und wir werden so daran gemahnt, aus den Resten von Tieren und Pflanzen, die heute nur in warmen Gegenden leben, nicht ohne weiteres darauf zu schließen, daß die Gebiete, in denen sie fossil vorkommen, ehemals auch tropische Lebensbedingungen boten.

In vielen Fällen sind die Versteinerungen das einzige Mittel, durch welches wir bestimmte Auskunft darüber erhalten können, ob eine Schicht auf dem Festlande gebildet wurde, oder ob sie in einem Süßwasserbecken oder im Brackwassergebiete der Mündung großer Flüsse zum Absatze gelangte, oder ob sie schließlich ein Sediment des Meeres darstellt. Wenn wir Ablagerungen finden, reich an Pflanzenresten, mit Baumstämmen, deren Wurzeln in der unterlagernden Schicht sich in natürlichem Zusammenhange mit jenen befinden, während die höhere Schicht die zu den Stämmen gehörenden Zweige, Blätter und Früchte einschließt, so können wir annehmen, daß eine solche Ablagerung, wie wir sie aus dem Karbon und aus der Braunkohlenformation kennen, auf dem Lande und nicht unter Wasserbedeckung entstanden ist. Man bezeichnet solche Kohlenflöze, deren Material an der Stelle, wo das Flöz gebildet wurde, durch vegetative Tätigkeit entstand, als autochthone, im Gegensatze zu den durch Zusammenschwemmung von Pflanzen entstandenen allochthonen Flözen. Für die Frage nach der Autochthonie der Steinkohlenflöze hat P o t o n i é auf die Wichtigkeit der in den Tonschiefern im unmittelbaren Liegenden der Flöze auftretenden sogenannten Appendices der Stigmarien hingewiesen. Es sind das wurzelartige häutige Organe, die um die Stigmarien herum nach allen Richtungen den Tonschiefer durchdringen und einen zwingenden Beweis dafür erbringen, daß die Stigmarien in demselben Tonschlamm wurzelten, der heute als Tonschiefer ihre Wurzelanhänge umschließt. Als weitere Kennzeichen solcher Entstehung treten häufig Flügeldecken von Käfern und anderen Landinsekten, sowie Reste von Eidechsen und Landschnecken dazu.

Wurde eine Schicht im Süßwasser gebildet, so finden sich neben oftmals außerordentlich zahlreichen Resten von eingeschwemmten Landpflanzen auch solche von Wasserpflanzen und mit diesen zusammen die Schalen von Süßwasserschnecken und Muscheln, die zierlichen Klappen kleiner Süßwasserschalenkrebschen und die mikroskopischen Kieselpanzer einzelliger Süßwasseralgen (Diatomeen).

Bei Ablagerungen des Brackwassers gesellen sich zu einer ähnlichen Gruppe von Resten des Landes und Süßwassers solche, deren eigentliche Lebensbedingungen an das Salzwasser geknüpft sind. Gewöhnlich aber ist

es nur eine kleine Zahl der gleichzeitig im reinen Meereswasser lebenden Fauna, welcher die Einwanderung in das minder salzige Mischwasser der Ästuarien und Lagunen nicht zu schaden vermag, ein Bruchteil, den man direkt als die brackische Äquivalenz der marinen Fauna bezeichnen kann. In reinen Meeresbildungen treten die Pflanzen und Tiere des Landes selbstverständlich außerordentlich zurück und kommen nur noch als verschlagene, im Meere treibende Massen gelegentlich hinein. Geknüpft an das Meerwasser, und damit den marinen Ursprung einer Schicht auf das unzweifelhafteste anzeigend, nennen wir die Korallen, die hornigen und kalkigen Bryozoen, Seelilien, Seesterne, Seeigel, sowie zahlreiche Mollusken, darunter unter anderem alle kalkschaligen Brachiopoden, sowie Seefische vom Charakter der Haie und Rochen. Ganz besonders entscheidend für den marinen Ursprung einer Ablagerung sind Angehörige der Familie der Cephalopoden, also die Orthoceren, Goniatiten, Ammoniten, Belemniten u. s. w.

Auch jugendliche Bewegungen der Erdkruste können aus der heutigen Lage von Versteinerungen sehr gut erkannt werden. Wenn z. B. in einer in gewisser Höhe über dem heutigen Meeresspiegel entlang der Küste sich hinziehenden Terrasse eine Reihe von Mollusken sich findet, mit Arten, die heute in demselben Meere oder nur wenig nördlicher oder südlicher vorkommen, so läßt sich daraus der Schluß ziehen, daß an dieser Stelle eine Verschiebung der Küstenlinie in negativem Sinne stattgefunden hat, und die Höhendifferenz zwischen der Terrasse und dem Meeresspiegel ergibt das Mindestmaß der Vertikalbewegung dieses Teiles der Erdkruste. Ebenso beweiskräftig wie derartige Muschellager sind die in Felsen oberhalb des heutigen Strandes sich findenden Bohrlöcher von Bohrmuscheln, sowie die besonders an steilen oder überhängenden Felsenküsten oft lange sich haltenden Schalen von Balanen.

Findet man auf dem Festlande gebildete Ablagerungen dagegen unter dem Meeresspiegel, so ist oft daraus zu schließen, daß eine positive Strandverschiebung stattgefunden hat, daß also das Land gesunken ist. Nur ist in diesem Falle große Vorsicht nötig; so hat man beispielsweise auch aus dem Vorkommen von Torflagern unterhalb des Meeresniveaus der Ostseeküste schließen wollen, daß diese in Senkung begriffen ist und doch ist diese Folgerung durchaus unzulässig. Nehmen wir beispielsweise, wie im folgenden Profile Figur 16 schematisch angedeutet ist, an, daß hinter dem Dünenwalle der Küste ein Haffsee vertorft, dessen Boden 2 m unter dem Meeresspiegel, dessen Oberfläche 1 m über ihm liegt, so wird als Resultat ein Torflager von 3 m Mächtigkeit entstehen. Rückt nun die Meeresküste durch Zerstörung des Strandes landeinwärts vor, und wandert die Düne über das Moor hinweg, so preßt sie es auf $^1/_3$ bis $^1/_4$ seines ursprünglichen Volumens zusammen, und wir haben alsdann eine Torfschicht von 1 m Mächtigkeit, deren Oberfläche nunmehr 1 m unter dem Meeres-

spiegel liegt. Kommt das Meer bei weiterem Vorrücken dann an diese Torfschicht heran, so wird diese am Strande unter dem Meeresniveau ausstreichen, ohne daß die Annahme einer Senkung des Landes irgendwie erforderlich wäre (Fig. 17).

Wenn sogenannte autochthone Kohlenflöze, d. h. solche, die nach den oben angegebenen Kriterien an der Stelle, wo sie liegen, durch eine ebenda

Fig. 16.

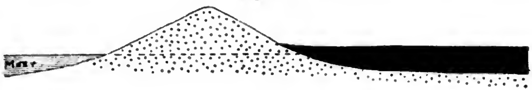
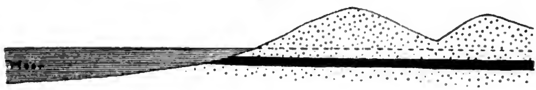


Fig. 17.



gewachsene Vegetation entstanden sind, mit Schichten abwechseln, in welchen sich Reste zweifellos marinen Ursprungs eingeschlossen finden, so spricht diese Wechsellagerung meist dafür, daß auf und ab gehende komplizierte Bewegungen einer flachen Küste zu jener Zeit stattgefunden haben müssen.

Die Lage der Versteinerungen kann sogar dazu führen, direkte Überkippungen von Schichten zu erkennen, oder mit Sicherheit zu unterscheiden, in welcher Richtung man bei steilstehenden Schichten das Hangende, in welcher das Liegende zu suchen hat. Wenn beispielsweise Baumstämme, deren Wurzeln in dem Boden stecken, in dem sie gewachsen sind, uns in dem Schichtenverbande so entgegentreten, daß die Wurzeln oberhalb der Stämme stehen, so kann man mit Sicherheit darauf schließen, in einem vollständig überkippten Schichtenverbande sich zu befinden, und kann anderseits bei horizontaler Lagerung solcher Stämme aus der Stellung der Wurzeln die ältere Schicht von der jüngeren unterscheiden, also sehen, nach welcher Richtung hin man in immer hangendere Schichten kommt. Denselben Wert wie Baumstämme können für die Entscheidung solcher Fragen auch tierische Reste besitzen, von denen man weiß, daß das Wachstum in die Höhe zu ihren Lebensäußerungen gehört, wie z. B. die Stockbauten der Korallen und Bryozoen.

Auch die vorwiegende Lage der Schalen von zweischaligen, nicht mehr zusammenhängenden Muscheln auf der Schichtfläche in der Weise, daß alle Schalenwölbungen nach einer Seite gerichtet sind, spricht in den meisten Fällen dafür, daß diese Schichtfläche eine Oberfläche darstellt, aus der man auf die Lage von Hangendem und Liegendem schließen kann. (Vgl. auch S. 58.)

Kapitel 9.

4. Beobachtungen über Schichtung.

a) Entstehung der Schichtung. Die einfachste Lagerungsform, die der aufnehmende Geologe in einem Aufschlusse sorgsamer Prüfung zu unterwerfen hat, ist die Art der Auflagerung oder die Schichtung. Jede Schichtung wird hervorgerufen durch einen, wenn auch noch so geringfügigen Wechsel in der Art der nacheinander gebildeten Sedimente oder in den Bedingungen der Ablagerung, und es ist demnach zu prüfen, welcher Art im konkreten Falle dieser Wechsel gewesen ist. Man wird oftmals die Bemerkung machen, daß die Schichtung etwa in Sandsteinen dadurch entsteht, daß dünne Blättchen von toniger Substanz zwischen zwei Sandbänken sich einschieben, oder daß in einer mächtigen Folge von Kalksteinen dünne Mergelbänkchen sich finden, oder daß geringfügige Änderungen des Pigmentes den Eindruck der Schichtung hervorrufen (Aufmerksamkeit bei durch Verwitterung erzeugten, oft von Klüften ausgehenden Umfärbungen!), oder daß gröbere und feinere Sedimente wechsellagern, oder daß chemisch ausgefällte Sedimente mit solchen klastischen Materials abwechseln. Selbst bei vollkommener petrographischer Übereinstimmung zweier aufeinander folgender Schichten kann eine wohl erkennbare Schichtung dadurch hervorgerufen werden, daß infolge einer Unterbrechung der Materialzufuhr die untere Schicht oberflächlich erhärtet war, bevor die obere abgelagert wurde, oder daß eine später wieder vollständig verschwundene dünne Haut von Algenvegetation Zeit hatte, sich auf jener anzusiedeln, wodurch eine vollkommene Verschmelzung jener beiden Schichten verhindert wurde. Es ist zu prüfen, welcher von diesen oder den vielen anderen möglichen Fällen in dem gegebenen Aufschlusse vorliegt.

b) Die Eigentümlichkeiten der Schichtflächen. Das nächste Augenmerk ist alsdann der Auflagerungsfläche zuzuwenden, und es ist zu prüfen, welche besonderen charakteristischen Eigentümlichkeiten die Oberseite und die Unterseite einer Schichtplatte auszeichnen, um an der Hand dieser Beobachtungen die Merkmale der Schichtfläche sich einzuprägen zu dem Zwecke, mit ihrer Hilfe dieselbe Schicht an anderen Punkten wieder zu erkennen. Es ist ferner darauf zu achten, in welcher Weise die Oberseite einer Schicht von der Unterseite sich unterscheidet, damit man in Aufschlüssen mit steiler Schichtenstellung in die Lage kommt, mit Sicherheit das Hangende und Liegende unterscheiden zu können. Nur in den seltensten Fällen ist eine Schichtfläche vollkommen eben, sind also die oberen und unteren Seiten der einzelnen Gesteinsplatten durchaus gleich-

artig. In den meisten Fällen tragen die Schichtflächen irgendwelche eigentümliche Kennzeichen an sich. Diese sind außerordentlich verschiedenartig, und es gehört in die Gruppe solcher Erscheinungen eine Reihe von Gebilden hinein, die seit langer Zeit den Paläontologen Rätsel aufgegeben haben, und von denen es heute noch nicht feststeht, welches die Art ihres Ursprunges ist, ob sie organische Körper oder auf mechanischem Wege erzeugte Bildungen sind. Es sind hier eine Reihe eigentümlicher Skulpturen zu nennen, die man als Hieroglyphen bezeichnet und als Kriechspuren der verschiedensten Tiere gedeutet hat, es gehören dahin die sogenannten

Fig. 18.



Wellenfurchen (Ripplemarks), die Netzleisten, die sogenannten fossilen Regentropfen, sowie eine Reihe von ganz problematischen Körpern. Ferner sind die Schichtflächen sehr häufig bedeckt mit wirklichen organischen Resten; so findet man gar häufig die Schalen von Muscheln in dichter Häufung auf den Schichtflächen. In anderen Gesteinen wieder stellen sich Fährtenabdrücke von Wirbeltieren ein, die über das Gestein hinwegschritten, als es noch plastisch war und an der damaligen Erdoberfläche lag; und noch auf anderen Schichtflächen finden sich Spuren ehemaliger Kristallisationsprozesse in Form von Ausfüllungen von Hohlräumen, die durch Auslaugung ursprünglicher Kristalle erzeugt wurden. Bei der Bedeutung aller dieser Erscheinungen für die Erkennung wahrer Schichtflächen und für die Unter-

scheidung von Ober- und Unterseite einer Schicht werde ich sie im folgenden etwas eingehender behandeln.

Wenn in einer tonigen Schicht unmittelbar nach ihrer Entstehung durch Austrocknen an der Luft ein System von Rissen und Sprüngen entsteht (T r o c k e n s p r ü n g e, wie man sie beim Austrocknen einer Pfütze, eines Teiches, des Schlämmkastens einer Ziegelei auch heute allenthalben beobachten kann), und wenn dann eine neue Schicht auf dieser zur Ablagerung gelangt, so füllt das Material dieser neuen Schicht auch die Risse der älteren aus, und nach dem Erhärten greift die jüngere Schicht mit einem sich vielfach durchkreuzenden Systeme von Leisten in die ältere hinein. Spaltet man ein solches Stück auf der Schichtfläche, so zerbrechen die Leisten; man sieht dann auf der Oberfläche der älteren Schicht das Netz genau so, wie auf der Unterseite der jüngeren, aber man braucht nur zu untersuchen, ob die Ausfüllungsmasse der Trockenrisse sich nach der Art einer Gangausfüllung im Querbruche vom Nebengestein abhebt oder nicht, um zu wissen, daß man es im ersteren Falle mit der Oberseite, im letzteren mit der Unterseite einer Schicht zu tun hat.

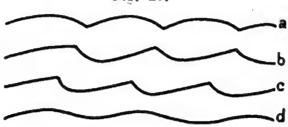
Fig. 19.



Figur 18 gibt die Ansicht der Oberfläche, Figur 19 einen Querschnitt durch ein solches Stück.

Wenn man am heutigen Strande die Wirkung der einzelnen Wellen auf das sandige oder tonige Material des Ufers und flachen Meeres genau beobachtet, so sieht man, daß diese kleine, in wechselnden Abständen aufeinanderfolgende Wälle mit dazwischenliegenden Furchen aufwerfen, die entweder in flachen, bogenförmigen Linien zusammenlaufen, oder bei kurzen Wellen einen ausgesprochenen Parallelismus zur Küste annehmen. Je nach dem Material und je nach der Stärke des Wellenschlages werden diese sogenannten W e l l e n f u r c h e n, die sich besonders schön im flachen Wasser bilden, bald breiter, bald schmaler, bald höher, bald niedriger, und ebenso sind die Zwischenräume, in denen sie aufeinander folgen, verschieden. Diese Wellenfurchen oder Ripplemarks sind nun auch aus älteren Formationen im fossilen Zustande bekannt, vor allem im Rotliegenden und im Bunten Sandstein, und liefern in diesem Falle ein recht brauchbares Kennzeichen zur Beurteilung der Schichten. In Figur 20 sind verschiedene Querschnitte solcher Wellenfurchen dargestellt, während Figur 21 die Ansicht der Oberfläche einer Platte mit ausgezeichneten Ripplemarks in 1/4 der natürlichen Größe gibt.

Fig. 20.



Wenn diese Wellenfurchen eine gleichmäßige Wölbung darstellen, wie in Figur 20a und d, also eine Abwechslung gewissermaßen von flachen Sätteln und Mulden, so ist es nicht möglich, im fossilen Zustande zu erkennen, welches die Ober- und welches die Unterseite einer Schicht ist, da bei der Symmetrie der entstehenden Formen das ursprüngliche Gebilde und sein Abdruck natürlich durchaus gleich sind. Wohl aber kann man beides

Fig. 21.



deutlich unterscheiden, wenn die einzelne Wellenfurche im Querschnitte nicht symmetrisch gebaut ist, d. h. wenn sie, wie b und c in Figur 20 zeigt, sich aus einer flachen und aus einer steiler geböschten Seite zusammensetzt. Dann besitzen die Sättel der ursprünglichen Bildung eine scharfe Kante, während die dazwischenliegenden Mulden gerundet sind, und man kann unter Benutzung dieses Umstandes alsdann die ursprüngliche Wellenfurche von ihrem Abguß auf der Unterseite der nächsten darüberliegenden Schicht deutlich unterscheiden.

Wenn ein niederes Tier auf dem frisch abgelagerten Meeresboden sich kriechend bewegt, so erzeugt es in vielen Fällen auf demselben eine Kriechspur, die sich meist aus einer Reihe von kleinen Eindrücken mit aufgetriebenen Rändern zusammensetzt. Wird eine solche Spur fossil, so zeigt die Oberseite der Schicht die von den Aufwulstungen umgebene Vertiefung als solche, der Abdruck dagegen, also die Unterseite der höheren Schicht, zeigt die Spur als erhabene Fläche und ihre Ränder als vertieften Saum. Bilden die Kriechspuren dagegen nur flache, rillige Vertiefungen,

Fig. 22.



so zeigt ihr Ausguß auf der Unterseite der folgenden Schicht Leisten mit rundlichem Querschnitte (Fig. 22). Fährten von Tieren sind vertieft in der Schicht, auf deren Oberfläche sich die Tiere bewegt haben; Gesteinsplatten also, auf welchen diese Fährten als Relief erscheinen, müssen notwendig die Unterseite der nächstjüngeren Schicht darstellen.

In sehr vielen Fällen sind sogenannte Tongallen auf den Schichtflächen angehäuft; es sind dies flache, scherbenartige Körper, die aus rotem oder grünem Ton bestehen und in vielen Fällen wohl nichts anderes sind, als vom Winde verwehte Austrocknungsbruchstücke toniger Lettenschichten, deren Bildung in dieselbe Periode entfällt, wie die Schicht, in welcher sie eingeschlossen sind.

Ein anderes Gebilde, welches häufig auf den Schichtflächen auftritt, sind Glimmerblättchen; infolge der vorherrschenden Ausdehnung in einer Ebene liegen diese feinen Gebilde in allen geschichteten Massen an und für sich parallel, treten aber besonders in feinsandigen Schichten gewöhnlich in starker Häufung auf den Schichtenflächen auf.

Nach der Lage der Tongallen und Glimmerblättchen kann man Ober- und Unterseite der Schicht nicht unterscheiden.

Wenn eine eben gebildete Schicht mit Salzlösung durchtränkt ist und austrocknet, so kristallisiert das gelöste Salz, meist Chlornatrium, auf der Oberfläche der Schicht, häufig unter gleichzeitiger Bildung von Trockenrissen, aus. Wenn eine neue Schicht darüber abgelagert wird, so wird in

Fig. 23.



den meisten Fällen das leicht lösliche Salz wieder verschwinden und der von ihm eingenommene Raum von der Substanz der darüberlagernden Schicht eingenommen werden (Fig. 23). Solche sogenannten Steinsalzpseudomorphosen zeigen also da, wo sie als Relief erscheinen, an, daß man es mit einer Schichtunterseite, da, wo sie vertieft erscheinen, daß man es mit einer Schichtoberseite zu tun hat. Bisweilen sind die Würfelkanten dabei etwas verschoben, was wohl mit einer Wiedererweichung des einbettenden Gesteins zusammenhängen dürfte.

Wenn eine eben dem Wasser entstiegene, frisch gebildete Schicht dem Einflusse eines heftigen Regens ausgesetzt ist, so bilden die einzelnen auffallenden Tropfen in der weichen Masse flache, rundliche Vertiefungen, die vom Material der nächstfolgenden Schicht wieder ausgefüllt werden (Fig. 24). Auch in diesem Falle also zeigt das reliefartige Hervortreten die Unterseite, die Vertiefung die Oberseite einer Schicht an.

Auch das rieselnde Wasser kann an der Oberfläche einer in Bildung be-

Fig. 24.

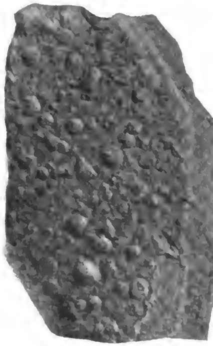


Fig. 25.



griffenen Schicht eigentümliche Skulpturen (Fig. 25) erzeugen, die zur Unterscheidung von Ober- und Unterseite benutzt werden können. Die kleinen vom Wasser ausgefurchten Rillen unserer Abbildung haben im Querschnitte die Figur 26. Eine solche Platte stellt also die Oberseite der Schicht dar.

während die Unterseite der nächstjüngeren im Querschnitt wie Figur 27 erscheinen würde.

Viel weniger leicht ist es, nach der Lage der organischen Reste Ober- und Unterseite einer Schicht voneinander zu trennen. Wenn zweischalige

Fig. 26.



Fig. 27.



Muscheln mit den beiden vereinigten Klappen eingebettet sind, dann wird natürlich die eine Schale reliefartig hervortreten, mag sie nun in der Ober- oder der Unterseite der Schicht liegen. Sind dagegen die Schalen isoliert, so werden sie in den meisten Fällen in der Weise eingebettet, daß die Wölbung nach oben gerichtet ist, d. h. also, die Schalen haben sich so angeordnet, daß sie auf der breitesten Unterstützungsfläche liegen, aus welcher sie am wenigsten leicht durch den Wellenschlag in andere Stellungen übergeführt werden können.

c) Schichtung nachahmende Erscheinungen. Bei den Fällen, die wir bisher betrachtet haben, handelt es sich um echte Schichtung, es kommen aber außerdem noch eine Anzahl von Erscheinungen vor, welche entweder nur entfernt an Schichtung erinnern oder manche Merkmale derselben in so ausgezeichneter Weise zur Schau tragen, daß sie viel deutlicher in die Augen springen, als diese selbst.

Zu den ersteren Fällen gehören die verschiedenen plattigen Absonderungsformen, die man häufig an granitischen, porphyrischen und phonolithischen Eruptivgesteinen beobachtet, die aber durch die Natur des Gesteins, in welchem sie auftreten, anzeigen, daß sie mit der wahren Schichtung nichts zu tun haben. Anders verhält es sich bei einer Reihe von Erscheinungen, die man besonders häufig an den Gesteinen der paläozoischen Formationen, unter günstigen Umständen aber auch an viel jüngeren, selbst tertiären Gesteinen beobachten kann. Es ist dies die Erscheinung der falschen oder transversalen Schichtung oder Schieferung. Sie besteht darin, daß die Absonderungsflächen und die damit verbundene Spaltbarkeit des Gesteins nicht mit der ursprünglichen Schichtung parallel verlaufen, sondern die Schichten unter einem kleineren oder größeren Winkel schneiden. Die Schieferung ist in vielen Fällen so regelmäßig und gleichmäßig ausgebildet, daß sie die Merkzeichen, an welchen die wahre Schichtung des Gesteins erkannt werden könnte, außerordentlich unterdrückt und ihre Erkennung in hohem Maße erschwert, und dies umsomehr, als der Charakter der von ihr betroffenen Gesteine in gar vielen Fällen ein sehr einförmiger ist. Bezeichnend für die Schieferung ist, daß sie an Gebiete gebunden ist, in welchen die Schichten in komplizierter Weise zu Falten zusammengeschoben sind,

und daß die Lage der Schieferungsebene im allgemeinen mit der Streichrichtung der zusammengefalteten Schichten übereinstimmt, woraus zugleich hervorgeht, daß beide Erscheinungen, Faltung und Schieferung, den gleichen Umständen ihre Entstehung verdanken, nämlich dem bei der Gebirgsbildung ausgeübten seitlichen Drucke.

Der Verdacht der Schieferung ist dann gegeben, wenn die Zerklüftung des Gesteins in jene ebenflächigen Platten eine außerordentliche Gleichmäßigkeit zeigt, und wenn solche Platten durch Lagen von verschiedener mechanischer oder chemischer Zusammensetzung hindurchgehen. Es gehört zu den schwierigeren Aufgaben des Geologen, in solchen Gebirgen, in denen die transversale Schieferung fast alle Gesteine betroffen hat, die ursprüngliche Schichtung und die aus ihr abzuleitende Tektonik zu erkennen. Die Mittel, die man in solchen Fällen anwendet, sind verschiedener Art. Besteht die geschieferte Gesteinsfolge aus Bänken von wechselnder Zusammensetzung, die durch ihre Farbe oder sonstige Eigentümlichkeiten sich leicht voneinander unterscheiden lassen, so ist die Schwierigkeit der Erkennung der ursprünglichen Schichtung nicht übermäßig groß. Anders aber liegt die Sache, wenn gleichmäßige Tongesteine das geschieferte Gebirge zusammensetzen. In diesem Falle kann man aus der Lage etwa vorkommender Versteinerungen oder Schwefelkieskonkretionen in vielen Fällen die Flächen der Schichtung erkennen. Ist ein Gestein beispielsweise graptolithenführend, so kann man wohl mit Sicherheit annehmen, daß die Graptolithen auf den Flächen ursprünglicher Schichtung liegen, und es kann dann der Fund des kleinsten Bruchstückes im geschieferten Gestein als Anhalt dienen. Neben den Versteinerungen kann das Auftreten von konkretionären Bildungen für die Erkennung der Schichtung bestimmend werden, wenn man beobachtet, daß die Konkretionen in regelmäßig verfolgbaren Linien angeordnet sind. Läßt auch dieses Hilfsmittel im Stich, so ist manchmal die genaue Betrachtung der Schieferungsflächen selbst von Nutzen. Da nämlich fast keine Gesteinsfolge so eintönig entwickelt ist, daß nicht irgendwelche Differenzen der Härte in den einzelnen Schichtengliedern sich geltend machten, so hat die Kraft, welche die Druckschieferung erzeugte, mit verschieden großen Widerständen zu tun gehabt, und diese äußern sich durch außerordentlich winzige Unebenheiten in der Ebene der Schieferungsfläche. Während nämlich durch das weichere Gestein die Schieferung glatt und gleichmäßig verläuft, erzeugt die Einlagerung einer einzigen härteren dünnen Lage eine kleine, quer über die Schieferungsfläche verlaufende Erhabenheit, eine „Borde“, deren eine Seite flach, deren andere etwas steiler ist, und durch genaue Verfolgung dieser kleinen, in Figur 28 im Querschnitte einer Schieferplatte skizzierten Skulptur vermag man eine ungefähre Vorstellung von der Lage der ursprünglichen Schichtungsfläche im Raume sich zu bilden. Manchmal ist man auch in der Lage,

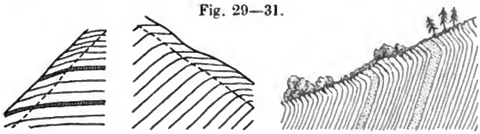
aus diesen kleinen Erhabenheiten oft schon durch das Gefühl (beim Darüberstreichen mit dem Finger) die ungefähre Richtung des Einfallens der wahren Schichten zu bestimmen. Dieses wird in unserer Figur durch punktierte Linien bezeichnet, ist also stets dem Steilrande der „Borde" abgewendet.

Fig. 28.



Bei der Beurteilung der Frage nach der Neigung der Schichten ist große Vorsicht nötig, wenn man sich im Ausstriche derselben befindet. Es ist eine sehr häufige Beobachtung, daß an Bergabhängen die Schichten umgebogen sind, und zwar in dem Sinne, in welchem der Abhang gerichtet ist (Fig. 29—31). Diese Erscheinung umfaßt nur den der heutigen Oberfläche zunächstgelegenen alleroberstein, durch Verwitterung gelockerten Teil des Schichtenausstriches und ist in den meisten Fällen durch das Abwärtsdrücken dieser lockeren Partien durch die im Winter sich ansammelnden

Fig. 29—31.



Schneemassen oder aber durch ein dem Gesetz der Schwere folgendes „Fließen" der gelockerten Gesteine am Gehänge[1]) zu erklären, nicht aber, wie dies mehrfach versucht worden ist, durch die Tätigkeit eines über diese Schichten im Sinne des Tales sich vorwärtsbewegenden Gletschers. Es ist ganz selbstverständlich, daß diese Lagerung keinen Anhalt bei der Beurteilung der Tektonik eines Gebietes gewähren darf.

Ein anderer Fall, in welchem scheinbar außerordentlich komplizierte Schichtenverhältnisse vorliegen, kann ebenfalls auf einfachem Wege erklärt und dadurch in seiner Bedeutung für die Tektonik einer Landschaft richtig erfaßt werden. Wenn nämlich beispielsweise unter hartem Sandstein von großer Mächtigkeit feine plastische Tone lagern, und dieses Schichtensystem in einer etwas steilen Wand durch die Erosion angeschnitten wird, so können die auflagernden Massen auf den weichen Ton solchen Druck ausüben, daß dieser gewissermaßen herausgequetscht wird, wobei außerordentlich verwickelte Schichtenbiegungen entstehen können. Tritt solche Erscheinung in der Weise auf, wie dies die Figur 32 zeigt, so ist sie natürlich nur von

[1]) Vergl. Singer: „Fließende Hänge." Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Archit.-Vereines 1902, Nr. 11.

geringer geologischer Bedeutung. Anders freilich liegt das Verhältnis, wenn man derartige Lagerungsstörungen toniger, plastischer Massen zwischen ungestörten Schichten auf größere Erstreckung beobachten kann, wie dies beispielsweise mit den Tonen im älteren Diluvium Norddeutschlands der Fall ist. Hier sind diese Schichtenstörungen auf ganz ähnliche Weise zu erklären, aber hier wurde der erforderliche Druck von den mit Hunderten von Metern Mächtigkeit einst darüber lagernden Massen des Inlandeises ausgeübt.

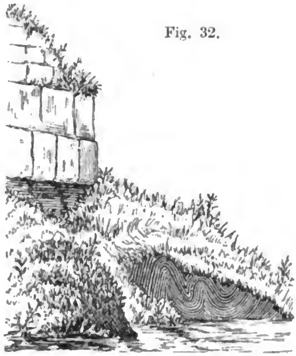


Fig. 32.

Kapitel 10.

Die Lage einer Schicht im Raume. Streichen und Fallen.

Die einzelnen Schichten oder Schichtgruppen grenzen mit ebenen oder irgendwie gekrümmten Flächen aneinander, die man als Grenzflächen bezeichnet.

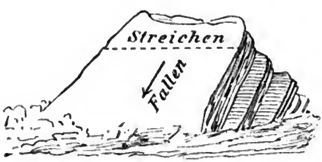
Für die geologische Kartierung, für die Verfolgung einer Schicht, für die Erkenntnis des tektonischen Baues einer Gegend ist es von größtem Werte, die Lage einer Grenzfläche im Raume festzustellen. Für diese Lage ist maßgebend die Richtung des Schnittes der Grenzfläche mit einer Horizontalebene und die Neigung der Grenzfläche gegen die Horizontalebene. Die erste Richtung wird als das Streichen der Schicht bezeichnet und durch die Abweichung der bezeichneten Schnittlinie vom Meridian ausgedrückt. Die Neigung heißt das Fallen oder Einfallen und wird bestimmt durch den Winkel, den die Grenzfläche mit der Horizontebene bildet und ergänzt durch die Angabe, nach welcher Himmelsrichtung von der Streichlinie aus das Fallen stattfindet (Fig. 33).

1. Das Streichen. Wenn zwei Schichten und damit auch ihre Grenzfläche horizontal liegen, so kann von einem Streichen nicht die Rede sein, weil die Horizontebene mit der Grenzfläche parallel läuft, also nicht mit ihr zum Schnitte kommen kann. Man spricht in solchem Falle und auch dann, wenn die Neigung so gering ist, daß sie mit dem Auge allein nicht

mehr recht wahrgenommen werden kann, von horizontalen oder schwebenden Schichten und bezeichnet sie in der Karte mit dem Zeichen +. Wenn die Grenzfläche nicht horizontal liegt, so kommt sie mit der Horizontebene zum Schnitt. Jede horizontale Linie, die man in einer Grenzfläche ziehen kann, entspricht einer solchen Schnittlinie und ist für die Feststellung der Streichrichtung verwertbar. Natürlich laufen in einer ebenen Fläche alle diese Linien einander parallel. Bei starker Neigung der Grenzfläche ist es leichter, die Lage der Horizontalen zu erkennen, als bei sehr flachem Einfallen. In letzterem Falle ist es bei glatten Schichtflächen zweckmäßig, ihre Lage in der Weise festzustellen, daß man Wasser auf die Gesteinsfläche gießt, welche die Grenzfläche darstellt. Das Wasser fließt in der Richtung des größten Gefälles, und die Lage der Streichrichtung erhält man durch eine Linie rechtwinklig zu den entstandenen Wasserfäden.

Hat man die Horizontallinie ermittelt, in Fällen großer Wichtigkeit unter Benutzung einer Wasserwage, so mißt man ihre Richtung in der Weise, daß man die der Nordsüdlinie der Kompaßeinteilung parallele Seite der Kompaßplatte oder des Kastens an die Streichlinie anlegt, die Nadel ausschwingen läßt und nach ihrer Beruhigung arretiert. Man kann hierauf die Ablesung bis auf einen Grad und noch genauer vornehmen. Man wiederholt die Bestimmung mehrere Male hintereinander und nimmt aus den verschiedenen Ablesungen das Mittel. Die Streichrichtung selbst bezeichnet man, indem man angibt, um wie viele Grade sie nach Osten oder Westen von der Nordsüdlinie abweicht. So wird ein Streichen von Nordwest nach Südost bezeichnet durch N 45° W, indem die andere Richtung der Linie einfach das Komplement bildet und daher fortgelassen wird. Um eine direkte Ablesung zu ermöglichen, sind die Richtungen Ost und West bei dem geologischen Kompasse vertauscht. Bei dem bergmännischen Kompasse wird die Stundenzahl abgelesen, die die Nadel angibt, eine Zahl, die an beiden Enden der Nadel immer die gleiche ist.

Fig. 33.

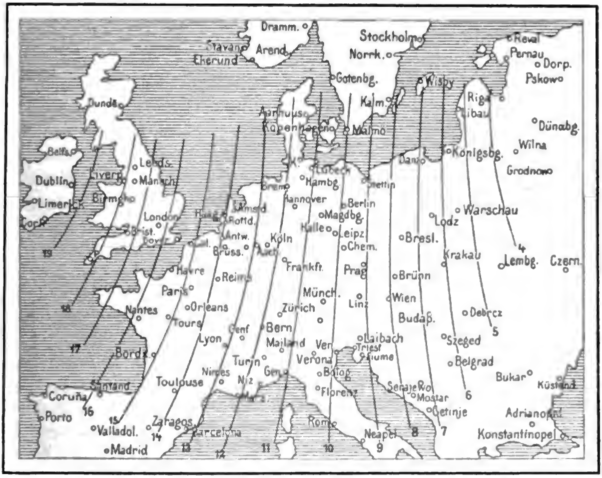


Bei dem Werte, den man so erhält, ist die örtliche Deklination der Magnetnadel nicht mit in Rechnung gezogen, und bei der Notierung des gefundenen Wertes bezeichnet man deshalb das Streichen als direkt beobachtetes, observiertes, abgekürzt: Str. obs. Um daraus das auf den Meridian bezogene Streichen (das berechnete Streichen, in Abkürzung: Str. ber.) zu erhalten, hat man den für Ort und Zeit gültigen Wert der magnetischen Deklination zu addieren resp. zu subtrahieren. Hierbei kommt für Deutschland ein

Vorzug des bergmännischen Kompasses zur Geltung, daß man nämlich bei Bestimmungen, wo es nicht auf große Genauigkeit ankommt, zu der beobachteten Stundenzahl nur eine Stunde = 15° = dem ungefähren Werte der Deklination zu addieren braucht, um sogleich das berechnete Streichen zu erhalten, resp. eine Stunde abzuziehen, wenn, wie beim geologischen Kompaß, O und W behufs direkter Ablesung vertauscht sind.

Für genauere Bestimmungen muß man den örtlichen Wert der Deklination in Graden in Abzug bringen, wie er sich aus der folgenden von Herrn Geh. Bergrat Schneider entworfenen Isogonenkarte für das Jahr 1908 ergibt.

Fig. 34.



2. Das Einfallen bestimmt man in der Weise, daß man zunächst die Richtung stärkster Neigung einer Schicht entweder nach dem Augenscheine oder mittels etwas Wassers feststellt und dann diejenige Längsseite der Kompaßplatte, nach welcher zu das Klinometerpendel beweglich ist, so auf diese Fallinie auflegt, daß die Platte senkrecht steht. Man erkennt dies daran, daß das Pendel frei zu schwingen vermag. Nachdem es nun zum Stehen gekommen ist, neigt man vorsichtig nach hinten, so daß es aufliegt, und liest dann direkt den Winkel ab, der den Grad des Einfallens bezeichnet. Ist es bequemer, bei überhängendem Gestein die untere Seite einer Schichtenplatte zur Bestimmung des Fallwinkels zu benutzen, so legt man

die der Klinometerskala gegenüberliegende Seite der Kompaßplatte an und kann dann gleichfalls direkt ablesen.

Außer dem Einfallwinkel ist auch anzugeben, nach welcher von den beiden, durch das Streichen gegebenen möglichen Richtungen das Einfallen erfolgt. Liegt das Streichen in dem Quadranten zwischen Nordost und Nordwest, so gibt man abgekürzt nur an, ob das Einfallen nach Osten oder Westen gerichtet ist; analog ist bei Streichen der Schicht innerhalb des Quadranten von Nordwest nach Südwest abgekürzt das Einfallen nur durch Norden oder Süden zu bezeichnen. Eine vollständige Bezeichnung der Lage einer Schichtfläche im Raume ist also beispielsweise durch folgende Eintragung gegeben:

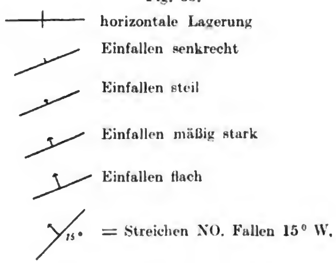
Str. obs. N. 15° O. ber. N. 25° O. Fallen 12° W.

Die zur Bestimmung von Streichen und Fallen benutzten Grenzflächen sind nur selten so glatt und eben, daß die Ermittlung dieser Werte leicht und anstandslos vor sich gehen kann. In den meisten Fällen sind die Schichtenoberflächen mit allerlei Runzeln, Buckeln, Fältchen, Eindrücken und Erhabenheiten, organischen Resten, Kriechspuren u. a. so bedeckt, daß die zur Bestimmung von Streichen und Fallen geeigneten Linien mit großer Vorsicht auszuwählen sind. Es lassen sich dafür keine bestimmten Regeln aufstellen, sondern es ist dazu ein gewisses geologisches Taktgefühl erforderlich, welches nur durch längere Übung und Erfahrung zu gewinnen ist. Eine gute Hilfe gewährt bei hinreichend großen Schichtflächenentblößungen das Auflegen einer gradlinigen Latte, eines Brettes oder zur Not auch eines Spazierstockes in die als richtig erkannte Streich- oder Fallinie, oder das richtige Einstellen solcher Latte in die Streichlinie vermittelst einer kleinen Wasserwage.

Jedenfalls tut man unter allen Umständen gut, zumal wenn man Anfänger ist, die Bestimmungen möglichst oft zu wiederholen und aus den verschiedenen Beobachtungen das Mittel zu wählen.

Zeichen für Streichen und Fallen:

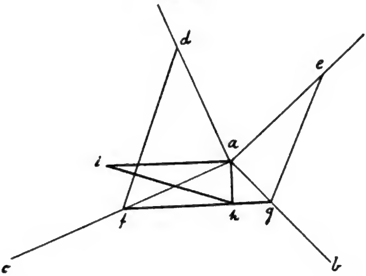
Fig. 35.



Indirekte Methode der Bestimmung von Streichen und Fallen. Man ist oftmals nicht in der Lage, das Streichen und Fallen direkt zu bestimmen, sondern hat nur Schichtenentblößungen vor sich, die das scheinbare Einfallen nach verschiedenen Richtungen hin zeigen. Will ich aus zwei derartigen Beobachtungen das wahre Streichen und Fallen ermitteln, so verfahre ich folgendermaßen:

Angenommen, ich hätte an einer Stelle eines Steinbruches beobachtet, daß das scheinbare Einfallen auf einer N 45° W streichenden vertikalen Fläche 65°, auf einer N 65° O streichenden dagegen 45° betrage. Ich trage mir nun (Fig. 36) die beiden Linien N 45° W (*a b*) und N 65° O (*a c*) so in

Fig. 36.



ihrer natürlichen Lage auf, daß sie sich in *a* schneiden. Dann ziehe ich in *a* auf beide Linien beliebig aber gleich lange Lote *a d* und *a e* und trage an *a d* in *d* das Komplement des für *a c* beobachteten Fallwinkels von 45° = 45°, an *a e* in *e* das des für *a b* beobachteten mit 25° auf und verlängere die beiden neuen Schenkel bis zum Schnitte mit *a b* in *g* resp. mit *a c* in *f*. Die Verbindung der Punkte *f* und *g* gibt das wahre Streichen und das von *a* auf *f g* gefällte Lot *a h* die Richtung des wahren Einfallens. Ziehe ich nun in *a* ein Lot *a i* auf *a h*, mache *a i* = *a d* = *a e* und verbinde *i* mit *h*, so ist der Winkel *a h i* der Winkel des wahren Einfallens.

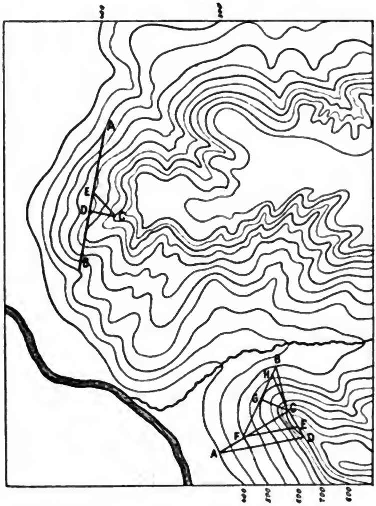
Die Winkel *a f d* und *a g e* sind die beiden beobachteten Fallwinkel. Denke ich mir nun auf der als Horizontalebene gedachten Fläche *c a b* die beiden Dreiecke *a d f* und *a g e* auf *a f* und *a g* so um 90° gedreht (in die Höhe geklappt), daß die Punkte *d* und *e* in einen Punkt zusammenfallen, so bildet eine Ebene durch diesen Punkt, durch *f* und durch *g* die gesuchte Ebene des wahren Streichens und Fallens, und der Schnitt dieser Fläche mit der Horizontalebene, der in *f g* erfolgt, gibt das wahre Streichen an.

Demnach muß die normal dazu liegende, ebenfalls senkrecht aufgeklappt zu denkende Ebene *a i h*, deren Punkt *i* dann mit *e* und *d* zusammenfällt, das Fallen, und der Winkel *a h i* den wahren Fallwinkel bezeichnen.

Aus der Konstruktion kann ich mit dem Transporteur direkt die Lage der Streichlinie und den Fallwinkel abnehmen; in dem angenommenen Falle streicht also die Schicht N 80° O und fällt mit 70° nach S ein.

Ähnlich liegt der Fall, wenn man zwar einige Grenzpunkte einer Schicht-

Fig. 37.



fläche genau in die Karte eintragen, aber weder Streichen noch Fallen direkt bestimmen kann.

Die Aufgabe besteht dann darin, aus der bekannten Lage von drei nicht in einer Geraden liegenden Punkten der Grenzfläche deren Streichen und Fallen zu bestimmen unter der Annahme, daß die Grenzfläche eine Ebene ist.

Es sind drei Fälle möglich:

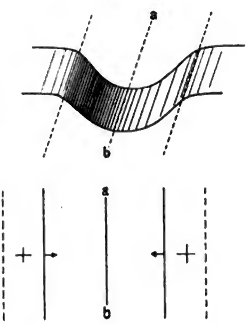
1. Alle drei Punkte liegen auf derselben Höhenlinie. In diesem Falle muß die Grenzfläche horizontal sein[1]).

[1]) Es könnte noch der wohl sehr seltene Fall denkbar sein, daß Grenzfläche und Erdoberfläche so gekrümmt sind, daß die Schnittlinie beider horizontal liegt.

2. Zwei Punkte, A und B, liegen auf einer Höhenlinie, der dritte C darüber oder darunter (Fig. 37 oben). Die Verbindungslinie von A mit B gibt die Streichrichtung, ein von C auf AB gefälltes Lot CD die Richtung der Fallinie an. Trage ich die aus der Karte ablesbare Höhendifferenz zwischen A und C resp. B und C maßstäblich von D aus als DE an und verbinde ich E mit C, so ist DCE der gesuchte Fallwinkel. Seine Größe ist zu berechnen nach der Formel $\operatorname{tg} ECD = \frac{ED}{CD}$ oder mit dem Transporteur zu entnehmen.
3. Die drei Punkte liegen in verschiedener Höhe (Fig. 37 unten). Ich verbinde den niedrigsten Punkt A mit dem höchsten C durch eine Gerade AC, und errichte auf ihr in C auf der von B abgekehrten Seite ein Lot CD, welches ich gleich dem Höhenunterschiede zwischen A und $C = a$ mache. Auf ihm schneide ich von D aus die Länge DE gleich dem Höhenunterschiede zwischen A und $B = b$ ab und ziehe die Parallellinien AD und FE. AC wird in F geschnitten, einem Punkte, der in gleicher absoluter Höhe liegt, wie B, so daß eine Verbindungslinie zwischen B und F die Streichlinie darstellt.

Aus dem Dreiecke CBF läßt sich dann in gleicher Weise wie im vorigen Falle der Einfallwinkel berechnen, indem man von C ein Lot auf BF (oder dessen Verlängerung) errichtet $= CG$, an G den Höhenunterschied zwischen B und $C = GH$ anträgt und H mit C verbindet. Der Winkel GCH ist der gesuchte Einfallwinkel.

Fig. 38.



Vergleiche übrigens in Bezug auf Bestimmung von Streichen und Fallen die Bemerkungen S. 60 über Schichtenumbiegung an Gehängen.

Bei muldenförmiger Lagerung versteht man unter Streichen die Abweichung der Hauptachse vom Meridian, in unserer Figur 38 also die Linie ab. Es ist nun leicht einzusehen, daß mit unserer S. 63 gegebenen Definition hier ein Widerspruch vorliegt, denn die Linie ab liegt nur in dem in Figur 38 dargestellten Falle, also in einer beiderseits offenen Mulde horizontal, während die Hauptachse in dem in Figur 39 gegebenen Falle der allseitig geschlossenen Mulde nach beiden Seiten ansteigt und in ihrem ganzen Verlaufe gekrümmt ist. In einer solchen rings geschlossenen Mulde muß das Streichen eigentlich durch eine Reihe von Linien in der in Fig. 40 angedeuteten Weise

bestimmt werden. Dadurch erhalten wir Streichlinien in allen Richtungen der Windrose und bezeichnen ein derartiges Streichen als ein umlaufendes. Die einzelnen Streichlinien geben uns also das Spezial-

Fig. 39.

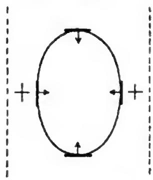
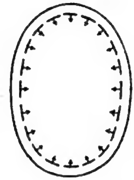


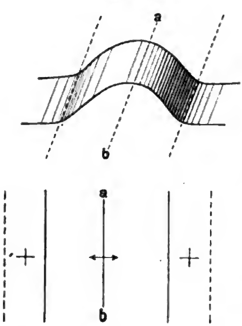
Fig. 40.



streichen der einzelnen Teile, die Hauptachse dagegen das Streichen des gesamten topisch einheitlichen Körpers, das Muldenstreichen, an. Das Fallen wird bei muldenförmiger Lagerung bestimmt durch Senkrechte zu den Linien des Spezialstreichens. Da alle diese Fallinien in einer geschlossenen Mulde nach deren Mitte hin gerichtet sind, bei einer offenen nach der Muldenachse, so nennt man eine solche Lagerungsform eine Synklinale. Auf eine Horizontalebene projiziert, sehen wir das eingetragene Streichen und Fallen einer offenen Mulde in Fig. 38, unterer Teil.

Wenn wir uns diese Lagerungsform so umgedreht denken, daß oben und unten vertauscht sind, so erhalten wir die Gestalt des Sattels (Fig. 41). In Bezug auf das Streichen verhält sich, wie leicht einzusehen, der Sattel genau ebenso wie die Mulde. In der Längsachse des Sattels, der „Sattellinie“ *ab*, ist die Streichrichtung gegeben. Das Spezialstreichen ist bei der geschlossenen Sattelform ebenso wie bei der vollständigen Mulde ein umlaufendes, bei dem offenen Sattel dagegen ein mit der Sattelachse paralleles. Ganz anders aber steht es mit dem Fallen. Dieses ist von der Sattellinie des offenen Sattels nach zwei Seiten und von der Mitte des geschlossenen Sattels nach allen Seiten hin abgekehrt (antiklinal) und die sattelförmige Lagerung wird aus diesem Grunde mit dem Namen einer Antiklinale bezeichnet.

Fig. 41.



Wenn eine Sattel- oder Muldenachse nicht horizontal liegt, sondern ge-

neigt ist, so wird das Streichen bestimmt durch eine Linie, die so über der Achse liegt, daß von ihr aus alle Lote dieselbe treffen würden, mit anderen Worten also durch die Lage der auf eine Horizontalebene projizierten Achse.

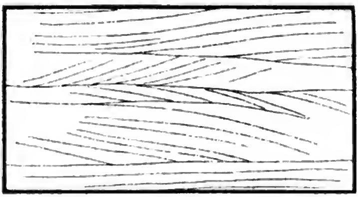
Kapitel 11.

Verschiedene Erscheinungen der Schichtung. Ursprünglich geneigte Schichten und ihre Erkennung.

Undeutliche Schichtung. Schrägschichtung. Auskeilung. Auch die einfache Form der Schichtung, in welcher eine Gesteinsbank gleichförmig über der anderen liegt, kann eine Reihe von Modifikationen erfahren.

Die Schichtung kann undeutlich werden, indem die Elemente, welche eine Absonderung in Bänken bewirken, sich nicht mehr in zusammenhängenden Lagen befinden, sondern in voneinander getrennten, linsenförmig oder ähnlich gestalteten Massen. Anderseits kann eine sonst fehlende Schichtung durch ähnliche Vorgänge angedeutet werden, wie beispielsweise durch das reihenweise Auftreten von Konkretionen oder Versteinerungen. Ja selbst völlig ungeschichtete vulkanische Gesteine können durch

Fig. 42.



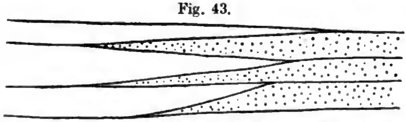
in bestimmten Lagen auftretende Hohlräume oder mit Mineralien erfüllte Mandeln das äußere Ansehen undeutlich geschichteter Massen gewinnen.

Bisweilen findet sich neben der ebenen Abtrennung des Gesteins in Bänke noch eine zweite Schichtung, welche diagonal zwischen den einzelnen Trennungsfugen des Gesteins verläuft. Diese sogenannte Diagonalschichtung (Schrägschichtung) geht durch allmähliche Übergänge in die diskordante Parallelstruktur (Kreuzschichtung [Fig. 42]) über, bei welcher die in einheitlichem Sinne diagonal geschichteten Massen nicht mehr parallele Bänke, sondern unregelmäßig ineinander greifende linsenförmige Einzelkörper bilden. Derartige diagonal geschichtete Bänke finden

sich in den meisten Fällen in Wechsellagerung mit gleichartigen, aber horizontal geschichteten Bänken.

Keine Schicht behält ununterbrochen ihre Mächtigkeit, sondern jede findet früher oder später einmal ihr Ende, nimmt an Mächtigkeit ab und läuft schließlich spitz aus, indem gewöhnlich gleichzeitig an ihrer Stelle andere Bänke sich einstellen, die in entgegengesetzter Richtung ein Anschwellen zeigen. Man spricht in solchem Falle von auskeilender Schichtung. Dieser Fall modifiziert sich oft in der Weise, daß eine Reihe von Schichten allmählich sich voneinander trennen und dünner werden, während gleichzeitig zwischen sie hinein sich Schichten mit anderem petrographischen Charakter legen, die um denselben Betrag, um welchen die ersteren dünner werden, an Mächtigkeit zunehmen. Man nennt solche

Fig. 43.



Verbindung abweichender Schichten durch auskeilende Wechsellagerung.

Lagerungsform geschichteter Gesteine a u s k e i l e n d e W e c h s e l l a g e r u n g.

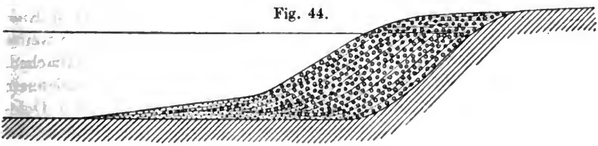
U r s p r ü n g l i c h g e n e i g t e S c h i c h t e n. Wir haben bis jetzt die einfachsten Fälle kennen gelernt, welche an die Betrachtung des Schichtenverbandes der einzelnen Gesteinsbänke in einem Aufschlusse sich anknüpfen lassen, und gehen jetzt dazu über, zu betrachten, welcherlei Beobachtungen in Bezug auf die Schichtung bei Berücksichtigung größerer Flächenräume zu machen sind. Die erste Frage, die sich dabei der Prüfung darbietet, ist die, ob man es mit einer ursprünglichen Richtung und Neigung der Schichten zu tun hat, oder ob die Schichten sich heute in einer anderen Neigung befinden, als zur Zeit ihrer Bildung. Beobachtet man in einem Schichtenkomplex vollkommen ungestörte, horizontal liegende Bänke, so kann man im allgemeinen annehmen, daß er sich noch in ursprünglicher Lagerung befindet, wenn auch selbstverständlich der Fall nicht ausgeschlossen ist, daß die Schichten durch gleichmäßige Hebung oder Senkung sich heute in einem ganz anderen Niveau befinden, als zur Zeit ihrer Ablagerung. Anderseits wird man, sobald man beobachtet, daß die Schichten eine Neigung nach irgend einer Himmelsrichtung zeigen, in den meisten Fällen erkennen, daß man es mit solchen zu tun hat, deren ursprüngliche Lage durch irgend welche Umstände verändert worden ist. Indessen gibt es doch einige Fälle, in welchen die geneigte Lagerung eine ursprüngliche sein kann, und wir wollen bei der Wichtigkeit dieser Erscheinung sie zunächst kurz besprechen.

1. Wo Sand vom Winde bewegt wird und in von Form sogenannten Wanderdünen vorrückt, da zeigt die vordere in der Bewegungsrichtung liegende Seite der Düne einen Böschungswinkel von rund 30°, während der dahinterliegende Teil gewöhnlich nur mit einem Winkel von 5—8° abgeböscht ist. Beim Vorwärtsrücken der Düne wird also an der Leeseite eine Schichtung sich unter dem genannten hohen Winkel herausbilden und wir haben hier demnach ein Beispiel sehr steil stehender ursprünglicher Neigung.

2. Wenn ein kalkreiches Wasser an einem Abhange hinabfließt, so verliert es an der Luft den kohlensauren Kalk und bildet auf der Oberfläche des Bodens Bänke von Kalktuff, deren Schichtung der Neigung des Gehänges entspricht. Der extremste Fall tritt auf, wenn ein Fluß in einem Wasserfall senkrecht hinabstürzt und seine Kalkinkrustationen auf der von ihm überströmten senkrechten Wand absetzt. Alsdann bilden solche Schichten Kalksinterlagen, deren natürliche Böschung bis zu 90° betragen kann, wie dies beispielsweise an dem berühmten Wasserfall des Teverone bei Tivoli der Fall ist.

3. Wenn ein Sand und Schotter transportierender Bach in ein Seebecken einmündet, so schüttet er die mitgeführten Massen in Form eines

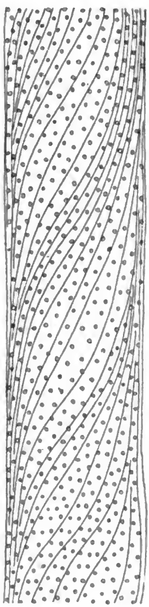
Fig. 44.



unter 10—30° nach vorn abgeböschten Schuttkegels oder Deltas in den See hinein. Ein Längsschnitt durch ein solches Delta zeigt zuunterst annähernd horizontale feinere Schichten, darüber ein System von stark geneigten, mantelförmig von der Achse des Delta abfallenden Schichten von gröberem Korne und zuoberst gewöhnlich noch eine Bank, die horizontal die schräg geschichteten Massen abschneidet. Transportiert der Bach auch toniges Material, so wird auch dieses in geneigter Schicht mit abgelagert, aber es tritt dann der Fall ein, daß diese tonigen Schichten je weiter nach unten, desto mächtiger werden. So wurde beispielsweise bei der Trockenlegung des Lungernsees (an der Brünigbahn) beobachtet, daß Tonbänke, die im Delta eingeschaltet waren, auf dem Grunde des Sees einen Meter Mächtigkeit besaßen, während sie im Schotterkegel sich nach oben hin mehr und mehr verschmälerten und schließlich gänzlich auskeilten.

Sind Sandsteine oder Konglomerate mit Deltastruktur steil aufgerichtet, so verläuft die Deltaschichtung an den Rändern der aufgerichteten Bank annähernd parallel mit ihrer Grenze, in der Mitte aber schräg dazu unter

Fig. 45.

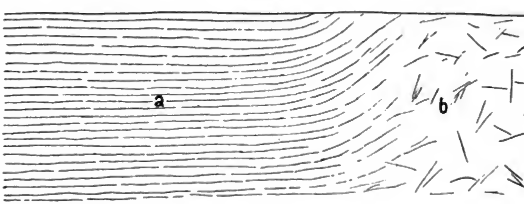


einem Winkel von 25—30° (Fig. 45). Man kann dann aus der Richtung der Deltaschichtung Schlüsse auf die Transportrichtung des Materials ziehen. Ein Beispiel bietet eine etwa 100 m mächtige Konglomeratbank im Miozän des nördlichen Apennin bei Salso Maggiore, die als langgestrecktes Riff unter 70° nach Nordosten einfallend durch ihre Schichtung einen Transport der Konglomerate von Nordwesten her, aus dem Gebiete der heutigen lombardischen Ebene verrät.

4. Wenn ein Korallenriff schneller emporwächst als die Sedimente in dem ihm benachbarten Meeresteile, so liefert es infolge Zertrümmerung seiner abgestorbenen Teile durch die Brandung eine große Menge von kalkigem Sande und von groben Brocken, welche am Fuße des Riffes sich anhäufen. Diese Massen zeigen eine Schichtung, welche aus der klotzigen, ungeschichteten Riffmasse heraus sich ganz allmählich entwickelt, in der Weise, daß die Schichten zunächst dem Riffe sich steil an dieses anlegen (Fig. 46), und je weiter von ihm entfernt, desto mehr sich verflachen. Diese als „Übergußschichtung" bezeichnete Erscheinung läßt sich sehr schön an den Dolomiten Südtirols und in den Dolomitriffen des weißen Jura in Franken beobachten; hier besonders deshalb sehr schön, weil in dem vollkommen ungestörten Gebirge das plötzliche Auftreten von geneigten Schichten außerordentlich in die Augen fällt.

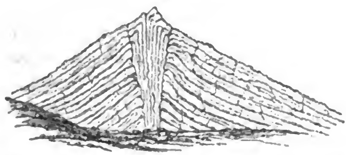
5. Noch eine andere Form ursprünglich geneigter Schichten kann dadurch entstehen, daß im vulkanischen Gebirge um einen Eruptionsherd

Fig. 46.



Lavaschichten und Aschenergüsse mantelförmig sich anlegen und infolgedessen mit geneigten Schichten von mehr oder weniger großer Steilheit allseitig von der Achse des Vulkanes abfallen (Fig. 47). Auch in diesem Falle pflegen sich die Tuff- und Lavaschichten mit der Entfernung vom vulka-

Fig. 47.



Natürlicher Durchschnitt eines kleinen, 1835 im Vesuvkrater entstandenen Schlackenkegels. Nach Abich.

nischen Herde auszukeilen. Man nennt eine solche Lagerungsform, bei der die Schichten sich mantelförmig um eine Mittelachse herumlegen, eine periklinale. Sie kann unter Umständen zur Erkennung des ehemaligen Mittelpunktes stark denudierter vulkanischer Aufschüttungen dienen.

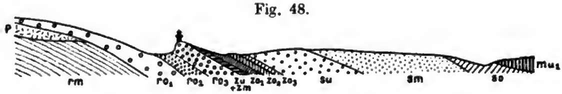
Kapitel 12.

Beobachtungen über Lagerungsstörungen. Faltung und Zerreißung.

Haben wir bisher die an das Phänomen der Schichtung unmittelbar sich anknüpfenden Beobachtungen besprochen, denen der Geologe bei der Besichtigung jedes auch noch so kleinen Aufschlusses seine Aufmerksamkeit zu schenken verpflichtet ist, so wollen wir im folgenden eine Anzahl von Erscheinungen betrachten, die erst bei der Fortführung der Beobachtung über die Schichtungsverhältnisse größerer Räume gewonnen werden können. Wenn wir ein einzelnes Schichtensystem überblicken, so sehen wir, daß ganz unabhängig von etwaigen Abweichungen der Lagerung von der horizontalen Ebene eine Schicht sich gleichförmig über die andere legt (Konkordanz), oder aber, wir nehmen wahr, daß an irgend einer Stelle ein Schichtensystem beginnt, dessen Schichtungsflächen mit denen des darunterliegenden nicht mehr parallel verlaufen, sondern diese unter irgend einem Winkel schneiden. Solches Lagerungsverhältnis bezeichnet man als eine Diskordanz. — Bei der konkordanten Lagerung liegen die Schichten auf weite Erstreckung horizontal (worunter man auch Neigungen von wenig Graden, die sich nur bei genauer Messung über große

Strecken hin ergeben, mit einbegreift), oder sie können geneigt sein. Das einfachste Beispiel einer geneigten Schichtenfolge ist das in Figur 48 dargestellte, bei welchem eine Reihe von Schichten übereinanderliegen, von denen jede nach rechts folgende jünger ist als die vorhergehende, wobei das Einfallen und Streichen der Schichten durch das ganze System hindurch ziemlich das gleiche bleibt. Außer diesen einseitigen Neigungen der Schichten aber finden sich in der Natur noch viel häufiger Fälle, in welchen durch seitlichen Druck die ursprünglich horizontalen Schichten zusammengeschoben und in Falten gelegt sind, wie sie beispielsweise entstehen, wenn man einen Teppich an einer Seite faßt und ihn rechtwinklig zu dieser Seite nach der Mitte hin vorwärtsbewegt. Es entstehen alsdann eine Reihe

Fig. 48.



rm = Mittleres, ro_1 und ro_3 = Harte Konglomerate, ro_2 = Weicher Sandstein des Oberen Rotliegenden, zu = Unterer, zm = Mittlerer, zo_1—zo_3 = Oberer Zechstein, su = Unterer, sm = Mittlerer, so = Oberer Buntsandstein (Röth), mu_1 = Unterer Wellenkalk.
Profil vom Nordrande des Thüringer Waldes bei Elgersburg (nach E. Zimmermann).

von Falten, welche sich aus abwechselnden Rücken und Einsenkungen zusammensetzen. Man bezeichnet in der Geologie die dabei entstehenden Rücken als Sättel oder Antiklinalen, weil in ihnen die Schichten von einer bestimmten Linie abfallen, und die zwischen den Rücken liegenden Senken als Mulden oder Synklinalen, weil hier die Schichten einer solchen zufallen; die Verbindung eines Sattels mit einer Mulde bezeichnet man ganz allgemein als eine Falte. Die Linie, durch welche man die höchsten Teile eines Sattels miteinander verbinden kann, nennt man die Sattellinie (*a b* in Fig. 49), diejenige, die man in die tiefsten Teile einer Mulde legen kann, eine Muldenlinie (*a b* in Fig. 50).

Wenn man in der Mulden- oder Sattellinie eine Lotebene errichtet, so wird durch diese der Sattel, resp. die Mulde in zwei Teile zerlegt. Sind diese beiden Teile vollständig gleich, so hat man es mit gleichförmig stehenden Falten zu tun (Fig. 51 *a*); sind sie aber ungleich, so nennt man die Falte zwar immer noch eine stehende, aber eine ungleichförmige (Fig. 51 *b*). Die Ungleichförmigkeit kann so weit gehen, daß das Lot mit dem Mittelschenkel, d. h. dem der Mulde und dem Sattel gemeinsamen Teile der Falte, zusammenfällt (Fig. 51 *c*). Fällt das Lot aber gar über solchen Schenkel hinaus, liegt es also nicht mehr innerhalb des Sattels, resp. der Mulde, so nennt man die Falte eine liegende (Fig. 51 *d*). Allen diesen verschiedenen Falten gemeinsam ist die Längserstreckung in einer Linie, welche die Breite gewöhnlich um ein Vielfaches übertrifft.

Eine durch die Sattel- oder Muldenlinie gelegte Ebene, welche deren Krümmungswinkel halbiert, bezeichnet man als eine Achsenebene und unterscheidet Sattelachsenebenen (*a a* in Fig. 52) und Muldenachsenebenen (*b b* in Fig. 52). Sind die einzelnen Falten so eng aufeinan-

Fig. 49.

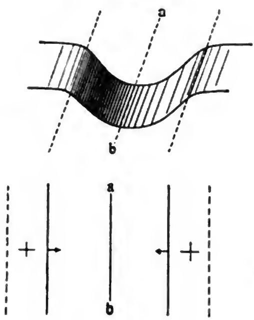


Fig. 50.

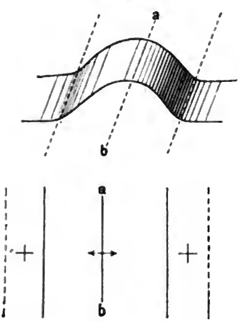


Fig. 51.

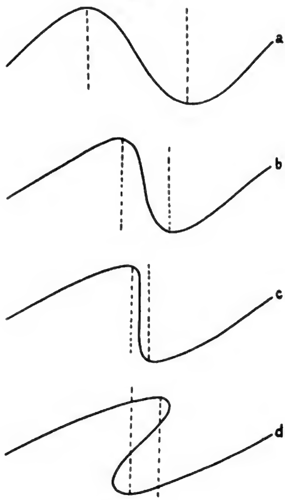
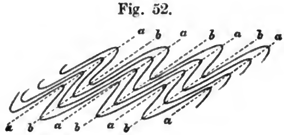


Fig. 52.

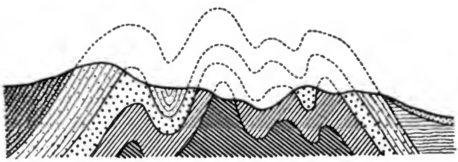


dergeschoben, daß ihre Schenkel annähernd den Achsenebenen parallel laufen, so nennt man das ganze Faltensystem ein isoklinales (Fig. 54).

In den weitaus meisten Fällen gelangen nur Teile einer Falte zur direkten Beobachtung und die Gestalt dieser selbst ist auf indirektem Wege zu bestimmen. Besonders ist dies dann der Fall, wenn die Denudation auf das

Faltensystem eingewirkt hat und die Umbiegungsstellen der Sättel der Zerstörung anheimgefallen sind. Man nennt dann den Schichtenteil, der durch die Erosion fortgeführt ist und zur Ergänzung des ursprünglichen Faltenwurfes konstruiert werden muß, einen Luftsattel (Fig. 53). Die Umbiegungsstellen der Mulden sind natürlich, da sie die tiefsten Lagen des Faltensystems einnehmen, in den meisten Fällen erhalten, aber eben durch ihre tiefe Lage zum größeren Teil der direkten Beobachtung entzogen.

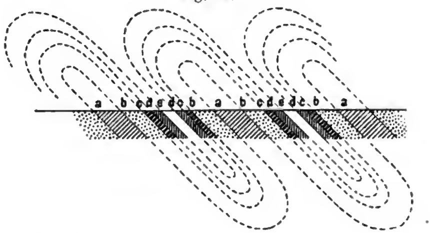
Fig. 53.



Wenn ein erodiertes Faltensystem von isoklinalem Bau (Fig. 54) mit seinen einzelnen Schichten zu Tage ausstreicht, so macht es natürlich vollkommen den Eindruck eines einseitig geneigten Schichtenkomplexes, und es ist große Aufmerksamkeit erforderlich, um nicht bei der Beobachtung einer solchen Erscheinung auf die falsche Vermutung zu kommen, man habe es mit einer mächtigen Schichtenreihe zu tun, in welcher das jedesmalige Hangende jünger ist als das Liegende. Die Mittel, durch die man in solchen Fällen den wahren Sachverhalt erkennt, sind folgende: Man beachtet genau die petrographischen und paläontologischen Eigentümlichkeiten der einzelnen Schichten, nimmt ein genaues Profil der einzelnen, darin auftretenden, unterscheidbaren und wohlcharakterisierten Gebirgsglieder auf und bezeichnet sie in der Weise mit Buchstaben, daß das gleiche Gestein an allen Punkten seines Auftretens den gleichen Buchstaben erhält. Ergibt sich in diesem Falle ein vollkommener Mangel an Symmetrie in der Anordnung der einzelnen Schichten, so wird man, wenn keine anderen Umstände diesem Schlusse ein Hindernis in den Weg legen, annehmen können, daß man es mit einem einzigen System übereinanderliegender Schichten zu tun hat (s. oben Fig. 48). Erhält man aber eine gewisse Schichtenreihe, in welcher von einem bestimmten Gliede an dieselbe Schichtenfolge sich in umgekehrter Weise wiederholt und tritt vielleicht gar ein solcher Fall einige Male hintereinander ein, wobei das etwaige Verschwinden des einen Gliedes oder das etwaige Neuauftreten eines anderen Gliedes kein absolutes Hindernis zu sein braucht, so darf man annehmen, daß man es mit einem isoklinalen Faltensystem zu tun hat, welches in der Weise zu ergänzen ist, wie es Figur 54 zeigt. Bei solchen Untersuchungen ist

gleichzeitig als Hilfsmittel alles zu benutzen, was wir oben über die Eigentümlichkeiten der Oberseiten und Unterseiten der Schichten gesagt haben, denn es ist klar, daß, wenn in einem Schichtenkomplexe die Schichtenoberseiten im einen Falle nach Osten, im anderen nach Westen gerichtet sind, beide Schichten nur so verbunden sein können, daß in dem zwischen ihnen liegenden Raume eine Umbiegung stattgefunden hat. Erhält man beim

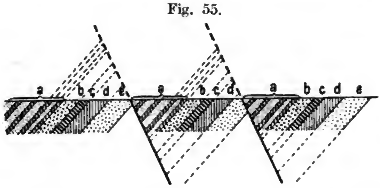
Fig. 54.



Feststellen einer isoklinalen Schichtenfolge durch Buchstaben ein Schema, in welchem die einzelnen Glieder in derselben Reihenfolge wiederkehren (Fig. 55), so ist zu prüfen, ob man es mit einer Wiederkehr infolge von Lagerungsstörungen zu tun hat, worüber im nächsten Abschnitte weiteres folgt.

Wenn in einer sich wiederholenden Folge geneigter Schichten nicht mit Sicherheit bekannt ist, welches die liegenden, welches die hangenden Gesteine sind, so kann die Ergänzung des Schichtensystems zu Mulden und

Fig. 55.



Sätteln unter Umständen zu einer der Wirklichkeit diametral entgegengesetzten Auffassung führen. Enthält aber die Folge zwei gut charakterisierte Gesteine, von denen genau bekannt ist, welches das jüngere ist, so ist solcher Zweifel natürlich ausgeschlossen. Ein sehr schönes Beispiel bietet das Oberdevongebiet von Elbingerode. Während Lossen hier eine Mulde annahm, in welcher die Schalsteine den jüngsten Kern bilden

(Fig. 56), konnte M. Koch durch Auffindung des Cypridinenschiefers, also eines im Hangenden des Stringocephalenkalkes auftretenden Gesteins, den Nachweis führen, daß hier tatsächlich ein Sattel vorliegt und daß die Schalsteine das älteste Glied, den Sattelkern, bilden (Fig. 57). In den beiden Profilen ist die Oberflächenverbreitung der Schichten die nämliche, nur daß in Figur 57 noch der Cypridinenschiefer hinzutritt; die aus dem Schichtenverbande abgeleitete Tektonik aber zeigt den weitgehenden Unterschied der Auffassungen.

Wenn eine im ganzen horizontale Schicht auf einer gewissen Strecke unter mehr oder weniger großem Winkel geneigt erscheint und sodann wieder in horizontale Lagerung übergeht, so hat man es mit einer Lagerungsform zu tun, in welcher von den einzelnen Elementen einer Falte nur der

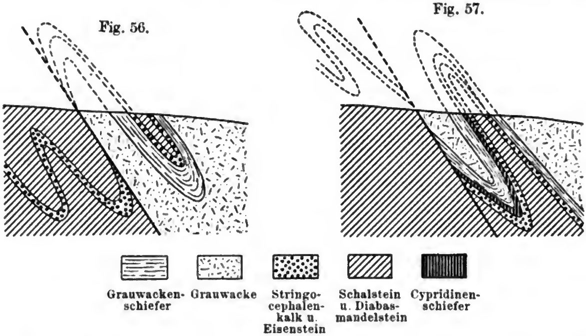


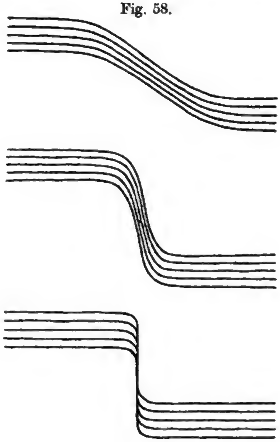
Fig. 56. Fig. 57.

Mittelschenkel vorhanden ist, während die beiden anderen Schenkel des Sattels und der Mulde in der Horizontalebene liegen. Man nennt eine solche Lagerungsform eine Monoklinalfalte, oder besser eine Flexur (Fig. 58). Der genetische Unterschied einer Flexur von einer normalen Falte besteht darin, daß bei der letzteren ein Zusammenschub stattgefunden hat, während mit dem Begriffe der Flexur eine Zerrung und Ausdehnung verknüpft ist. Es ergibt sich daraus auch ganz klar, daß die Schichten im mittleren Schenkel der Flexur gewöhnlich weniger mächtig sind, als in den an die Flexur sich anschließenden horizontalen Stücken, und daß diese Differenz in der Mächtigkeit umso größer wird, je steiler aufgerichtet das geneigte Stück erscheint. Nimmt man den extremsten Fall an, daß die Schichten im Mittelschenkel senkrecht stehen, so werden sie in den meisten Fällen so ausgezogen sein, daß sie sich auf eine äußerst dünne, öfters unterbrochene Schicht beschränken (Fig. 58 unten), und wir gewinnen auf diese

Weise den Übergang aus der geneigten Lagerung der Schichten in die mit Bruch verknüpfte Verschiebung der Schichten gegeneinander.

Bei Flexuren ist es eine sehr häufige Erscheinung, daß der geneigte oder steil stehende Mittelschenkel von zahlreichen streichenden Verwerfungen

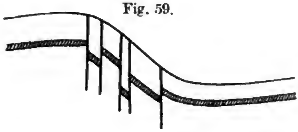
Fig. 58.



durchsetzt ist, zwischen denen die einzelnen Stücke um wechselnde Beträge verschoben sind. Ein schematisches Bild solcher Schichtenstörungen gewährt Figur 59.

S c h i c h t e n s t ö r u n g e n: Die Zerberstung und Zerreißung ganzer Schichtensysteme oder ihrer einzelnen Glieder spielt im geologischen Bau vieler Gegenden eine ganz außerordentliche Rolle, beeinflußt das

Fig. 59.



Relief der Landschaft und ist für die Nutzbarmachung der in den geologischen Schichten eingeschlossenen Schätze von höchster Bedeutung. Sie äußert sich darin, daß in ausgedehnten, mehr oder weniger vertikal stehenden, zuweilen selbst horizontalen Ebenen oder faltigen Flächen der Zusammen-

hang der Schichten aufgehoben wird und eine Spalte entsteht, welche von der Breite einer Haarspalte bis zu vielen Metern Durchmesser schwanken kann. Durch solche Spalten wird die Erdrinde in Teilstücke von der verschiedensten Größe zerlegt, von denen jedes einzelne von den bei der Gebirgsbildung tätigen Kräften mit anderem Erfolge angegriffen wird. Infolgedessen sind in den meisten Fällen solche Spalten zugleich Flächen, an welchen sich die einzelnen zusammenstoßenden Schollen aneinander verschoben haben, und es gehört zu den wichtigsten, aber oft auch schwierigsten Aufgaben des Geologen, in der Natur diese Spaltensysteme, ihren Verlauf und die Richtung ihres Einfallens festzustellen und zu ermitteln, ob auf ihnen sich Bewegungen vollzogen haben, ob diese horizontaler oder vertikaler Art waren, oder ob eine Kombination von beiden vorliegt, welchen Betrag die Verschiebungen erreichen, ob die eine oder die andere Seite, oder ob alle beide bewegt wurden.

Wir betrachten nunmehr die einzelnen Arten von Störungen und beginnen mit deren einfachster Form. Wenn eine Spalte vertikal aufreißt, so können auf ihr verschiedene Arten von Bewegungen stattfinden. Der Gebirgsteil auf ihrer einen Seite kann stehen bleiben und der andere kann senkrecht in die Tiefe sinken oder in horizontaler Richtung verschoben werden; letzteres speziell heißt „Blattverwerfung". Bisweilen kann man auch eine Kombination beider Bewegungsformen erkennen. Infolge davon stoßen entlang einer Verwerfung meistens Schichten in einem Niveau aneinander, die zu ganz verschiedenen Zeiten entstanden sind. Ausnahmsweise bei horizontaler Lagerung und ebensolcher Verschiebung des einen Flügels oder bei vollkommen seigerer Lagerung und ebensolcher Verschiebung wird ein Unterschied nicht erkennbar sein; ja es können in diesem Falle sogar die gleichzeitig entstandenen einzelnen Schichten noch unmittelbar einander berühren, vorausgesetzt, daß die Mächtigkeit der Schichten sich nicht verändert, die Grenzflächen also parallel verlaufen. Erst da, wo die Spalte in ihrer Horizontalerstreckung die Grenze zweier Schichtenkomplexe schneidet, werden Veränderungen an der Oberfläche erkennbar werden. Dagegen sind, im Falle horizontaler Verschiebung, senkrecht die Verwerfung durchsetzende Massen, also beispielsweise Eruptivgesteinsgänge, oberflächlich in ihrem Zusammenhange getrennt und man kann an ihnen den Betrag der Verschiebung direkt erkennen. Umgekehrt werden die durch die Verwerfung getrennten Teile solcher vertikalen Gänge bei dem Absinken eines Flügels in die Tiefe nebeneinander liegen bleiben. Den Betrag, um welchen bei einer Verwerfung eine Schicht vertikal gegen die andere verschoben ist, nennt man die Sprunghöhe.

Wenn die Verwerfungsspalte nicht vertikal steht, sondern geneigt ist, so hat man zu unterscheiden zwischen dem hangenden und dem liegenden

Flügel der Verwerfung, wobei man als „hangenden“ denjenigen bezeichnet, in welchem eine angesetzte Bohrung in einer gewissen Tiefe die Verwerfungsspalte erreichen würde. Bei diesen geneigt stehenden Verwerfungen sind zwei Fälle zu unterscheiden: Entweder ist der hangende Flügel in die Tiefe gesunken und man spricht dann schlechthin von einer „Verwerfung“ (Fig. 60), oder er ist nach oben bewegt worden und man hat in diesem Falle einen Wechsel oder eine Überschiebung (Fig. 61) vor sich. Im ersten Falle befindet sich zwischen den zu den beiden Seiten der Verwerfung liegenden Teilen einer ursprünglich zusammenhängenden Schicht eine Raumdifferenz, die in der Horizontalprojektion als Lücke erscheint, im letzteren Falle aber liegt auf einer bestimmten Strecke ein Teil der hangenden Schicht über einem anderen der liegenden. Dieselbe Wirkung wird natürlich hervorgerufen, wenn in dem ersten Falle der liegende Flügel aufwärts bewegt wird oder im zweiten Falle entlang der Verwerfung in die

Fig. 60.

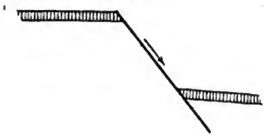
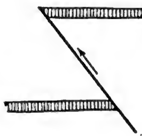


Fig. 61.



Tiefe sinkt (Unterschiebung). Auf jeden Fall ist bei der Verwerfung entlang einer geneigten Spalte eine Vergrößerung der von der betreffenden Schicht in der Horizontalprojektion eingenommenen Fläche, bei der Überschiebung dagegen eine Verminderung derselben zu beobachten.

Verwerfungen sowohl wie Überschiebungen können in horizontal gelagerten und in geneigten Schichtensystemen, in gefaltetem Gebirge jeder Art, in Sedimentär- und in Eruptivgesteinen aufsetzen, und es komplizieren sich nach diesen einzelnen Fällen die Wirkungen, welche solche Verschiebungen in der Oberflächenverbreitung der betroffenen Schichten bedingen.

Nach dem Winkel, den die Streichlinie einer Verwerfung mit derjenigen der von ihr durchsetzten Schichten bildet, kann man folgende Fälle unterscheiden:

1. Die Verwerfung verläuft völlig oder nahezu im Streichen der Schichten; man bezeichnet sie alsdann als „streichende“ oder „Längsverwerfung“. Wenn eine solche Verwerfungsspalte nicht senkrecht in die Tiefe setzt, so können die verworfenen Schichten entweder in derselben Richtung einfallen, wie die Verwerfung („rechtfallende“ Schichten) oder in entgegengesetzter („gegenfallende“ Schichten). Im ersteren Falle können die verworfenen Schichten nur dann wieder zu Tage treten, wenn sie ein

steileres Einfallen besitzen, als die Verwerfung (Fig. 62). Dagegen werden bei gegenfallenden Schichten die verworfenen Teile in den meisten Fällen wieder zu Tage ausstreichen (Fig. 63).

Gegenfallende streichende Verwerfungen führen also zu Wiederholungen einer Schichtenreihe nach dem Schema *a b c d e—a b c d e—a* (Fig. 64), wo-

Fig. 62.

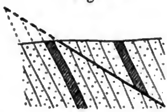
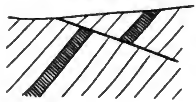


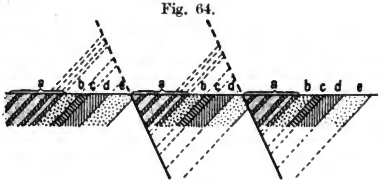
Fig. 63.



hingegen rechtfallende das Fehlen eines vorhandenen Schichtengliedes im Ausstriche an der Oberfläche veranlassen können (Schicht *f* in Fig. 65).

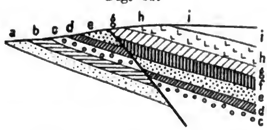
2. Die Verwerfung verläuft mehr oder weniger senkrecht zum Streichen

Fig. 64.



der verworfenen Schichten und wird alsdann als „Q u e r v e r w e r f u n g“ bezeichnet. Es ist mit ihr immer eine Verschiebung der Schichten verbunden, mit Ausnahme des Falles, daß sie auf dem Kopfe stehen, und

Fig. 65.



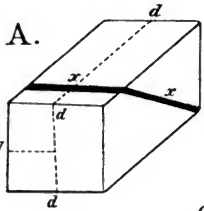
zwar erscheinen die hangenden Schichten der Fallrichtung entgegen, also nach rückwärts bewegt. Sehr gut wird dies durch die drei folgenden Modelle (Fig. 66) erläutert, die wir K a y s e r s „Allgemeiner Geologie“ entnehmen.

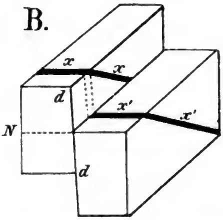
3. Der Verlauf der Verwerfung steht in der Mitte zwischen den beiden obengenannten Gruppen, liegt also weder im Streichen noch rechtwinklig zu ihm, und die Verwerfung wird als „D i a g o n a l-“ oder „s p i e ß- e c k i g e“ Verwerfung bezeichnet. Die von ihr ausgeübten Wirkungen

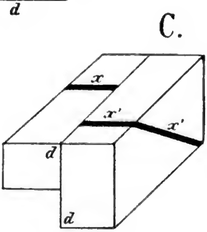
kommen denjenigen der Querverwerfungen nahe und der Betrag der Querverschiebung wird umso größer, je flacher die Schichten fallen und je mehr die Verwerfung einer streichenden sich nähert.

Es ist ein sehr häufiger Fall, daß Verwerfungen in großer Zahl in einem begrenzten Gebiete auftreten, und diese können dann entweder einander parallel verlaufen, oder sich unter beliebigen Winkeln schneiden; sie können ferner entweder gleichzeitig entstanden, oder in verschiedenen Perioden einzeln oder gruppenweise gebildet sein. Im letzteren Falle wird man

Fig. 66.







Modelle zur Erläuterung der Entstehung von Schichtenverschiebungen durch Querverwerfungen.

A. Schichtenblock vor eingetretener Verwerfung.

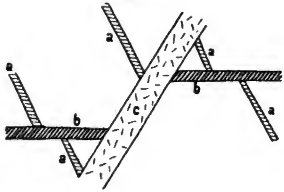
B. Derselbe, mit längs der Kluft *d d d* bis zum Niveau *N* abgesunkenen rechten Flügel.

C. Derselbe, nachdem der stehengebliebene Teil durch Abtragung so weit erniedrigt worden, daß seine Oberfläche mit der des gesunkenen Teiles zusammenfällt.

häufig die Beobachtung machen oder annehmen dürfen, daß die in ihrer Richtung miteinander übereinstimmenden Verwerfungen auch gleichen Alters sind. Wenn mehrere Verwerfungen von verschiedenem Alter einander durchkreuzen, so ist man in vielen Fällen in der Lage, mit Sicherheit die zeitliche Aufeinanderfolge der einzelnen Störungen festzustellen, besonders in dem Falle, daß auf den Spalten Eruptivgesteine emporgedrungen oder daß sie nachträglich durch Mineralien und Erze ausgefüllt sind. Es ist dann in jedem Falle die Spalte die jüngere, welche eine andere schon ausgefüllte durchsetzt und verwirft. In dem schematischen Bildchen (Fig. 67) erkennt man drei verschiedenalterige Spaltensysteme, von denen das mit *a* bezeichnete das älteste ist, weil es von den Spalten *b* und *c* verworfen, das mit *c* bezeichnete das jüngste ist, weil es, ohne weiter gestört zu sein, die mit *a* und *b* bezeichneten durchsetzt und verwirft.

Unter „S t ö r u n g s z o n e n“ versteht man Systeme von Verwerfungen, Faltungen, Quetschungen, Zerreißungen etc. entlang eines schmalen, langgestreckten Raumes, zwischen störungsarmen oder davon freien Gebieten.

Fig. 67.



Es kommen aber auch große Gebiete vor, in denen die Verwerfungen etc. nicht lokal angehäuft, sondern gleichmäßig zerstreut sind.

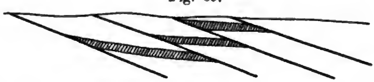
Wenn mehrere Spalten einander parallel verlaufen, so können die etwa eingetretenen Verschiebungen alle in gleichem Sinne stattgefunden haben, in der Weise, daß der Betrag der Verwerfung, die Sprunghöhe, in einer bestimmten Richtung zunimmt. Es ergibt sich daraus eine Tektonik, die

Fig. 68.



man mit dem Namen „staffelförmiger“ oder „treppenförmiger“ Bau bezeichnet. Werden horizontal gelagerte Schichten von einem solchen Verwerfungssystem zerlegt, so entsteht im Querschnitte ein Bild, wie es in Figur 68, 73 und 74 angedeutet ist. Bei geneigter Lage der Verwerfungsebene kann, wenn in jedem Falle der hangende Flügel in die Tiefe sinkt, das Bild eines treppenförmigen Baues entstehen; haben aber in solchem Falle Über-

Fig. 69.

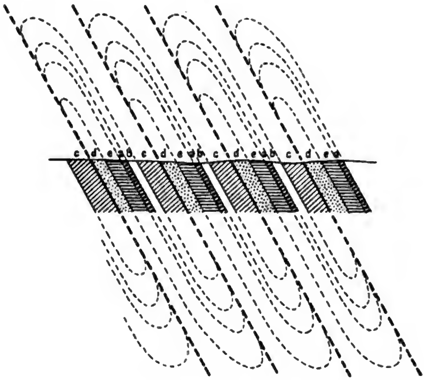


schiebungen stattgefunden, so wiederholt sich der Seite 86 besprochene Fall mehrere Male hintereinander, und wenn die Spalten unter einem sehr flachen Winkel in die Tiefe gehen, so kann der Fall eintreten, daß dieselbe Schicht drei, vier und mehr Male in einer bestimmten Zone übereinander lagernd durch eine Bohrung angetroffen werden würde (Fig. 69).

Wenn Schichten, die sich schon vor der Spaltenbildung in mehr oder weniger geneigter Lage befanden, von einem solchen System einander

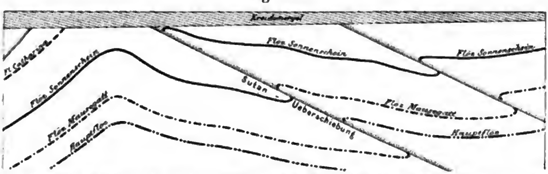
parallel verlaufender Überschiebungen betroffen werden, so kann der bereits oben angedeutete Fall eintreten, daß eine Schichtenreihe an der Oberfläche sich mehrere Male wiederholt, und es ist dann große Aufmerksamkeit er-

Fig. 70.



forderlich, um zu erkennen, ob man es mit einem isoklinalen Faltensystem oder mit einer Gruppe von aufeinander folgenden Überschiebungen zu tun hat. Man charakterisiert im letzteren Falle den Gebirgsbau mit dem Namen S c h u p p e n s t r u k t u r (Fig 70).

Fig. 71.

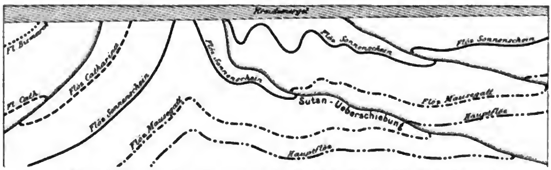


Profil des Sutans unmittelbar nach der Bildung der Überschiebung (Maßstab ungefähr 1:60000).

Außerordentlich verwickelte Verhältnisse ergeben sich, wenn ein überschobener Schichtenkomplex nachträglich noch von einer Faltung betroffen wird. Alsdann wird natürlich die Überschiebungsfläche mitgefaltet. Ein durch den Bergbau gut aufgeschlossenes Beispiel bietet die unter dem Namen Sutan bekannte Überschiebung im westfälischen Karbon. Man

erkennt alsdann auch bei den infolge der Faltung widersinnig fallenden oder horizontal liegenden Stücken der Überschiebungsfläche ihren wahren Charakter daran, daß in einer bestimmten Richtung immer jüngere, in der entgegengesetzten immer ältere Gebirgsglieder an sie anstoßen (Fig. 71 und 72).

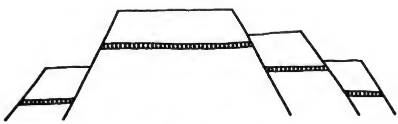
Fig. 72.



Profil des Sutans nach teilweiser Mitfaltung (Maßstab ungefähr 1:60000).

Wenn auf parallelen oder miteinander konvergierenden, aber im Streichen mehr oder weniger übereinstimmenden Spalten Bewegungen in der Weise stattfinden, daß ein von ihnen eingeschlossenes Gebirgsstück stehen bleibt und die äußeren Flügel der Verwerfungen in die Tiefe sinken, so entsteht

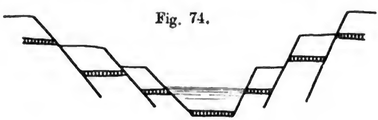
Fig. 73.



der im Profile (Fig. 73) dargestellte Fall, in welchem man das stehengebliebene Stück als einen „Horst“ bezeichnet.

Wenn umgekehrt die beiden äußeren Flügel der Verwerfung stehen bleiben und das von ihnen eingeschlossene Stück in die Tiefe sinkt, so ent-

Fig. 74.

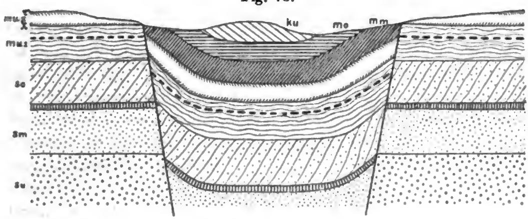


steht der in Figur 74 dargestellte Bau, den man als Grabenversenkung oder kurzweg als „Graben“ bezeichnet. Das folgende Profil (Fig. 75) gibt einen Querschnitt durch einen derartigen einfach gebauten Graben, in welchem eine bis in den Keuper hinaufreichende Schichtenfolge zwischen zwei Verwerfungen in die Tiefe gesunken ist. An ihren beiden Seiten war

dieselbe Schichtenfolge ursprünglich auch vorhanden, aber infolge der Denudation reicht sie nach oben nur noch bis zum unteren Muschelkalke empor, während die jüngeren Schichten vollständig beseitigt sind.

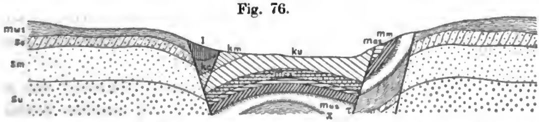
Gewöhnlich ist der geologische Bau, sowohl der Horste wie der Gräben, ein komplizierter, indem innerhalb der tektonischen Hauptmassen noch

Fig. 75.



weitere Verwerfungsspalten entstanden sind, auf denen abermals Verschiebungen der Schichten gegeneinander in verschiedenen, aber kleineren Beträgen stattgefunden haben. Ein Beispiel für einen solchen verwickelten

Fig. 76.



Buchstabenerklärung zu Fig. 75 und 76. su Unterer, sm mittlerer, so oberer Buntsandstein, mu_1 unterer, mu_2 oberer Wellenkalk, τ Terebratelbank, χ Schaumkalkbank, mm mittlerer, mo_1 und mo_2 oberer Muschelkalk, ku unterer, km mittlerer, ko oberer Keuper, l Lias.

Grabenbau bietet das Profil (Fig. 76), welches dem an Grabenversenkungen sehr reichen hessischen Berglande entnommen ist.

Auf die Art und Weise, in welcher die verschiedenen besprochenen Arten von Störungen im Oberflächenbilde einer Gegend sich bemerkbar machen, wird im Kapitel 21 bei Besprechung der kartographischen Darstellung dieser Erscheinungen noch näher eingegangen werden.

Kapitel 13.

Beobachtungen über Konkordanz, Diskordanz, Transgression, Faziesbildungen.

Wir wenden uns nunmehr zur Betrachtung des Verbandes einzelner Schichtenreihen. Wenn eine Anzahl von Schichten, seien sie nun horizontal gelagert oder geneigt, so übereinander liegen, daß ihre Schichtflächen parallel

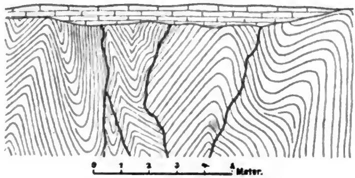
sind, so bezeichnet man diese Form der Auflagerung als Konkordanz. Diese Erscheinung ist die gewöhnlichste, oft über außerordentlich ausgedehnte Erdräume verbreitet, und umfaßt Schichtenreihen von großer Mächtigkeit, die eine ganze Anzahl nacheinander entstandener Formationen einschließen können. Sie ist in den weitaus meisten Fällen ein Beweis dafür, daß die Ablagerung der Schichten ununterbrochen in ungestörter Weise vor sich gegangen ist; so daß beispielsweise in Deutschland die Schichtenfolge vom unteren Zechstein an bis zum oberen Jura eine konkordante Schichtenfolge darbietet. In solchen Fällen ist die gesamte Reihe der Formationen mit ihren einzelnen Unterabteilungen wenigstens ursprünglich lückenlos und gleichmäßig entwickelt, so daß in der Reihe kein nennenswertes Glied fehlt. Es kann aber auch der Fall eintreten, daß Schichtenreihen in konkordanter Lagerung sich befinden, zwischen denen an irgend einer Stelle eine große Lücke besteht, die an anderen Orten durch mächtige, während langer Zeiträume gebildete Gesteinsreihen vertreten ist. In einem solchen Falle muß die unterhalb der Lücke liegende Schichtenoberfläche, ohne in ihrer Lagerung gestört zu sein, für lange Zeiträume für neue Sedimentbildung ungeeignet gewesen sein, also entweder im Grunde der Tiefsee, wo nur unbedeutende Sedimente sich niederschlagen, gelegen haben, oder in der Zwischenzeit Festland gewesen und nach Ablauf der durch die Lücke angedeuteten Periode zufolge einfacher Vertikalverschiebung wieder in solche Bedingungen eingetreten sein, unter denen erneute Sedimentbildung möglich war.

Wenn auf einer Reihe untereinander konkordanter Schichten eine neue Gesteinsfolge abgelagert ist, deren ebenfalls unter sich parallele Schichten mit denjenigen der älteren Reihe nicht parallel verlaufen, so spricht man von einer ungleichförmigen oder diskordanten Auflagerung und bezeichnet die Erscheinung kurz als Diskordanz. Am meisten springt diese Auflagerungsform da in die Augen, wo der ältere Komplex nach seiner Ablagerung Störungen durch Faltung, Aufrichtung oder Verwerfung erfahren hat, und wo auf der durch die Denudation oder durch die abradierenden Brandungswellen des Meeres geschaffenen neuen Oberfläche Schichten abgelagert wurden, von denen die untersten auf den Schichtenköpfen der älteren auflagern; dies ist beispielsweise in dem nachstehenden Profil (Fig. 77) dargestellt, in welchem die kulmischen Kieselschiefer des Westharzes nach ihrer Faltung und Denudation von den horizontal gelagerten Sedimenten des Zechsteins überdeckt werden. Ein ähnliches, sehr bekanntes Beispiel von historischer Bedeutung bietet die Auflagerung der Zechsteinkalke auf den gefalteten und durch Verwerfungen gestörten Schichten der oberen Devonformation im Saaltale am Bohlenberge oberhalb Saalfeld.

Wenn eine Diskordanz in so ausgesprochener Form zur Beobachtung gelangt, so ist sie ein deutlicher Beweis dafür, daß zwischen der Ablagerung

der älteren und der jüngeren Schichten ein großer Zeitraum verstrichen sein muß, in welchem der ältere Komplex Lagerungsstörungen erfahren und den langsam wirkenden Kräften der abtragenden Brandung oder der erodierenden Wirkung der Gewässer auf der Oberfläche des Festlandes ausgesetzt gewesen ist. Weniger deutlich, aber immer noch erkennbar, macht sich die Erscheinung der Diskordanz geltend, wenn in beckenförmigen Einsenkungen

Fig. 77.



des Untergrundes eine neue Schichtenreihe zum Absatz gelangte, die mit geringerem Unterschied in der Schichtenlagerung jenes Becken ausfüllte (Fig. 78).

Ein dritter Fall der Diskordanz tritt dann ein, wenn um mehr oder weniger große Klippen oder inselartige Hervorragungen des älteren Gesteins sich jüngere Sedimente mantelartig herumlegen, wobei naturgemäß an den

Fig. 78.



Grenzflächen ebenfalls ein Abstoßen der Schichten aneinander stattfinden muß.

Wenn während der gleichmäßigen Bildung einer Schichtenreihe Verschiebungen des Meeresspiegels stattfinden, in der Weise, daß durch ein Sinken des Festlandes dem Meere Gelegenheit geboten wird, von weiteren Flächenräumen Besitz zu ergreifen (positive Strandverschiebung), so werden die nach dieser Vergrößerung des Bildungsraumes abgelagerten Sedimente über die bis dahin gebildeten hinweggreifen und ein größeres Areal bedecken als jene. Man bezeichnet diese Erscheinung als übergreifende Lagerung oder Transgression, und zwar wird im allgemeinen dieser Name nur für diese Fälle angewendet, obwohl streng genommen jede diskordante Überlagerung mit dem Begriffe „Transgression" verknüpft ist. Da naturgemäß in dem Falle einer langsamen Senkung des Meeresspiegels der Nei-

gungswinkel der transgredierenden Schichten nur eine geringe Abweichung von dem der früher abgelagerten besitzt, so wird diese Erscheinung im Aufschlusse oder auf einer kleinen Fläche nur schwer zu erkennen sein und erst durch die genaue Untersuchung und die sorgfältige Aufnahme der verschiedenen Einfallwinkel auf einer großen Fläche unter Berücksichtigung der räumlichen Verbreitung der verschiedenartigen Ablagerungen erkannt werden können. Es ist aber durchaus nötig, auf diese Erscheinung auf das sorgfältigste zu achten, weil Transgressionen Ereignisse in der Entwicklungsgeschichte der Erde darstellen, die für die Entzifferung des geologischen Baues einer Gegend von der höchsten Bedeutung sind. Einmal erstrecken sie sich gewöhnlich über sehr bedeutende Areale, dann aber sind sie auch ein Beweis dafür, daß große Veränderungen in der Verteilung von Wasser und Land stattgefunden haben. Aus diesem Grunde sind sie auch für die Gliederung der einzelnen Formationen von großer Bedeutung geworden. Während es nämlich in einem Gebiete, wo die Schichten in ununterbrochener Konkordanz aufeinander folgen, vielfach schwierig ist, die Grenze zweier Formationen mit Sicherheit zu erkennen, bietet in einem anderen Gebiete manchmal die Beobachtung einer Transgression das Mittel, eine solche Grenze festzulegen, selbst wenn die Schichtenfolgen in petrographischer Beziehung keine sehr in die Augen fallenden Unterschiede zeigen.

Den oben besprochenen Fall, daß in einer scheinbar konkordanten Schichtenreihe eine Lücke vorhanden ist, indem eine oder mehrere in anderen Gebieten in der betreffenden Zeit abgelagerte Schichten oder gar Formationen fehlen, muß man also streng genommen ebenfalls als eine Diskordanz bezeichnen, die man als eine versteckte oder maskierte charakterisieren kann. Sie kann aber dadurch erkennbar werden, daß stellenweise in solcher scheinbar konkordanten Reihe eine wirkliche, deutlich beobachtbare Diskordanz sich einstellt, indem hier die jüngere Schicht in durch Denudation erzeugte Vertiefungen der älteren sich hineinlegt, oder dadurch, daß an einer anderen Stelle die ältere Gesteinsreihe nicht mehr parallel mit der Auflagerungsfläche der jüngeren liegt, oder daß die ältere Schicht durch Faltungen und Verwerfungen gestört ist, so daß ihre Schichten mit den auflagernden jüngeren eine Neigungsdifferenz aufweisen. Ein solcher Fall wird z. B. dann anzunehmen sein, wenn in einem und demselben Gebiete an einer Anzahl von Stellen Konkordanz, an anderen benachbarten Stellen dagegen Diskordanz zweier Schichtenreihen zu beobachten ist, zwischen deren Ablagerung eine aus Fossilienführung oder anderen Gründen zu schließende größere Unterbrechung stattgefunden hat.

Wenn in irgend einer Formation die Meeresfläche Teile des vorherigen Festlandes überflutete, ohne daß es zur Bildung von Abrasionsflächen kam, so haben wir einen Vorgang, den man mit Richthofen als Ingression von der Transgression auf abradiertem Festlandsboden unterscheiden kann.

Ein solcher Fall kann eintreten, wenn das an den alten Strand angrenzende Landgebiet durch eine Barriere, etwa einen Strandwall oder ein Korallenriff, vor der Wirkung der Brandungswellen und dem Einflusse der Gezeiten geschützt war, oder wenn kleinere Meeresbecken, in welchen beide Faktoren keine wesentliche Rolle spielen, ihren Umfang vergrößerten. In solchen Ingressionsgebieten entstehen gewöhnlich zur gleichen Zeit Ablagerungen sehr verschiedener Art: Einmündende Flüsse lagern grobe Sedimente ab, und es können Konglomerate und Sandsteinschichten von ziemlicher Mächtigkeit entstehen, während zur selben Zeit in einem angrenzenden, tieferen Meere nur geringfügige Sedimente sich bildeten, deren unbedeutende Mächtigkeit auf den Mangel an Meeresströmungen und aufbereitend wirkenden Brandungs- und Flutwellen zurückzuführen ist. Solche Unterschiede in gleichalterigen Sedimenten brauchen sich aber nicht nur auf die Mächtigkeit zu beziehen, sondern können auch das Material und die eingeschlossenen organischen Reste beeinflussen. In der Nähe der Küste gelangen gröbere Bildungen zum Absatze, im tieferen Meere tonige Sedimente, und an noch anderen Stellen nur die durch organische Tätigkeit geschaffenen kalkigen oder kieseligen Bildungen. Die Fauna und Flora dieser verschiedenen Zonen kann auf engem Raume außerordentliche Verschiedenheiten zeigen, so daß unter Umständen ganz nahe beieinanderliegende und zur gleichen Zeit entstandene Schichten kein einziges Lebewesen miteinander gemein haben. Derartige Änderungen in der Beschaffenheit der Gesteine und der zugehörigen Faunen und Floren bezeichnet man mit dem Namen F a z i e s und nennt nach dem Vorgange von M o j s i s o v i c s solche Sedimente „h e t e r o p i s c h e“. Den Gegensatz dazu bilden „i s o p i s c h e“ Ablagerungen, d. h. solche, die petrographisch und im Faunenhabitus übereinstimmen, selbst wenn sie verschieden alt sind. Mit den verwandt klingenden Bezeichnungen „h e t e r o t o p i s c h“ und „i s o t o p i s c h“ dagegen bezeichnet man Sedimente, die in den gleichen geologischen Provinzen oder Meeresbecken (isotopisch) oder in verschiedenen (heterotopisch) entstanden sind. So sind beispielsweise der pazifische Biloculinenschlick und der atlantische Globigerinenschlick heterotopisch isopische, ein Tiefseeschlamm und ein Korallenkalk desselben ozeanischen Beckens dagegen isotopisch heteropische Sedimente.

Die drei wichtigsten Gruppen der Faziesbildungen unterscheidet man, je nachdem sie auf dem festen Lande, im Süßwasser oder im Meere entstanden sind, als terrestrische, limnische und marine. Bei verschiedenem Bildungsmedium nennt man solche Ablagerungen „h e t e r o m e s i s c h e“, bei gleichem „i s o m e s i s c h e“. Unter den besonders weit verbreiteten marinen Ablagerungen kann man die Strandfazies von der Flachsee- und der Tiefseefazies gewöhnlich deutlich unterscheiden. Die Gesteine der ersteren haben meist grobes Korn oder sind als Riffe von Polypenkolonien erbaut.

Dickschalige Seeigel, große Muscheln und Schnecken mit widerstandsfähigen, dem Aufenthalte in der Brandung angepaßten Schalen sind charakteristische Bewohner der Strandzone. Ganz anders sind die Bewohner der Tiefsee: Zarte, glasartige Kieselschwämme, zahlreiche Crinoiden, gewisse Seeigelgruppen und die Mehrzahl der Einzelkorallen sind Bewohner der in der Tiefsee abgelagerten roten und grünen, von mikroskopischen Resten (Foraminiferen, Radiolarien, Diatomeen) strotzenden Tone. Petrographisch und faunistisch stellt sich die Fazies der Flachsee zwischen beide.

Der Wechsel der Fazies ist bei geologischen Untersuchungsarbeiten scharf zu berücksichtigen, da man im anderen Falle leicht zu ganz falschen Schlüssen verführt werden könnte, ein Umstand, dessen Nichtbeachtung in früheren Zeiten zu zahlreichen, nachher schwer auszurottenden irrtümlichen Anschauungen Veranlassung gegeben hat. Ein vortreffliches Beispiel des Fazieswechsels haben wir bereits im Kapitel über ursprünglich geneigte Schichten an einem Falle aus dem Fränkischen Jura kennen gelernt, wo gleichzeitig entstandene massige Riffdolomite in ganz kurzen Übergängen mit feingeschichteten Detritussedimenten kalkiger Natur aufs innigste verknüpft sind. Überhaupt beobachtet man den Fazieswechsel bei uns in Deutschland am besten und auf engstem Raume da, wo riffbildende Korallen, wie im Devon, Zechstein und Jura, mächtige, klotzige Gebirgsmassen gebildet haben, die nach den Seiten hin sehr schnell in wohlgeschichtete Sedimente übergehen und mit denselben in engem Verbande stehen. Auch in solchen Fällen, wo gröbere Sedimente durch Fazieswechsel allmählich, und oft erst in größerer Entfernung bemerkbar, in tonige oder kalkige Schichten übergehen, wie z. B. in der Kreideformation im nördlichen Harzvorlande und in Sachsen, ist die Feststellung der Zusammengehörigkeit der so unterschiedenen Bildungen von Bedeutung, weil sie einen wichtigen Anhalt zur Beurteilung der Lage der alten Küstenlinie der betreffenden Meeresteile liefert. Man hat die Küste immer in der Richtung anzunehmen, nach welcher hin das Sediment an Korngröße seiner einzelnen Bestandteile zunimmt.

Bei der kartographischen Darstellung eines solchen Fazieswechsels wird man wohl in den meisten Fällen in der Lage sein, eine bestimmte Grenze zwischen den einzelnen Bildungen zu ziehen, trotzdem in der Natur eine solche in genügender Schärfe nicht ausgebildet ist, vielmehr die verschiedenartigen Gesteine durch Übergänge oder auskeilende Wechsellagerung auf das innigste miteinander verknüpft sind. Unter Umständen, und zumal bei jüngeren Bildungen, wo die Beobachtung durch die ununterbrochene Lagerung an der Oberfläche erleichtert wird, kann man auch wohl vom Ziehen einer festen Grenze Abstand nehmen und die beiden heteropischen Sedimente auch in der Darstellung ineinanderfließen lassen. Jedenfalls muß man es vermeiden, auf der Karte gleichalterige Faziesbildungen mit sehr

verschiedenen Farben darzustellen, sondern muß auch hier ihre verwandtschaftlichen Beziehungen durch Ähnlichkeit der Farben oder Zeichen zum Ausdrucke bringen.

Kapitel 14.

5. Beobachtung wasserführender Schichten und nutzbarer Ablagerungen in Aufschlüssen.

Außer den in den vorigen Kapiteln entwickelten Gesichtspunkten sind bei der Beobachtung und Untersuchung von Aufschlüssen noch zwei Dinge beachtenswert:

5. Wasserführende Schichten: In tiefen Gruben, die in eine ebene Fläche eingesenkt sind, wird man häufig beobachten, daß zur Freihaltung der Sohle der Grube von Wasser Pumpenanlagen von verschiedener Größe erforderlich sind. In den wenigsten Fällen werden diese gebraucht, um ausschließlich die sich sammelnden Tagewasser zu beseitigen, vielmehr werden sie meistens dadurch erforderlich, daß innerhalb des in der Grube auftretenden Schichtenverbandes sich eine wasserführende Schicht befindet, welche ununterbrochen aus einer oder mehreren Quellen Wasser in die Grube abgibt. In den meisten Fällen liegen solche Wasseraustrittsstellen da, wo unter durchlässigen Schichten eine undurchlässige auftritt, doch kommen auch Fälle vor, in denen innerhalb einer gleichartigen mächtigen Schicht nennenswerter Wasseraustritt Statt hat. Man hat die Lage und die Ursache des Wasseraustritts an solchen Stellen genau zu ermitteln, weil diese Beobachtungen einmal für die Feststellung der Grundwasserverhältnisse, in noch höherem Maße aber für die spätere Aufsuchung der geologischen Grenzen zwischen den beiden betreffenden Schichten an den Stellen, wo sie zu Tage ausstreichen, nutzbringend verwendet werden können.

6. Die technische Nutzbarkeit: Es ist von vornherein natürlich, daß in jedem künstlichen Aufschlusse, es sei denn, daß derselbe durch bauliche Zwecke bedingt wäre, eine in irgend einer Hinsicht nutzbare Schicht aufgeschlossen ist, da ihre Verwertbarkeit eben die Anlage des Aufschlusses veranlaßte. In den meisten Fällen wird es ohne weiteres aus der Art des betreffenden Gesteins ersichtlich sein, zu welchem Zwecke es dient; wo die Art der Verwendung nicht sogleich zu erkennen ist, hat man sich von den Besitzern, Arbeitern oder Aufsehern der betreffenden Grube die nötige Auskunft zu verschaffen. Die Anstellung dieser Ermittlungen ist für Fragen der praktischen Geologie deshalb von Bedeutung, weil man dadurch in die Lage versetzt wird, vorkommenden Falles Anhaltspunkte für die Angabe solcher nutzbaren Ablagerungen an anderen Orten zu gewinnen.

Kapitel 15.

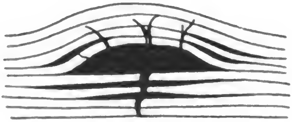
Beobachtungen an Eruptivgesteinen.

Es muß vorausgesetzt werden, daß der Geologe die nötigen petrographischen Kenntnisse besitzt, um, falls nicht besonders erschwerende Umstände (Metamorphose) auftreten, in einem Aufschlusse alsbald zu erkennen, ob die darin vorkommenden Gesteine im Wasser abgelagert (sedimentär) oder aus dem Erdinneren im feurig-flüssigen Zustande emporgedrungen (eruptiv) sind. Die wichtigsten Kennzeichen für letztere sind der Mangel an Schichtung (Vorsicht bei Fluidalstruktur und plattiger Absonderung!) und Versteinerungen, die Struktur und die Form des Auftretens. Während über die Struktur bereits das Nähere gesagt ist, mögen über die verschiedenen Lagerungsverhältnisse, unter denen Eruptivgesteine zu beobachten sind, hier folgende kurze Bemerkungen ihren Platz finden.

1. Das aus der Tiefe emporgedrungene feurig-flüssige Magma hat in manchen Fällen vorher schon vorhandene, ausgedehnte Hohlräume im Inneren der Erdkruste ausgefüllt, ohne an die Oberfläche gelangt zu sein. Derartige stockförmige, mannigfach gestaltete Massen sind von Süß als Batholithe bezeichnet.

2. Das aufsteigende Magma hat in den überlagernden Schichten solchen Widerstand gefunden, daß es nicht bis zur Oberfläche emporzudringen vermochte, sondern in mehr oder weniger großen Tiefen sich von dem Eruptions-

Fig. 79.

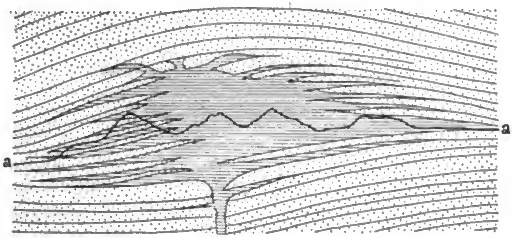


kanal aus seitwärts in den Verband der Schichten einzwängte, einzelne Schichtflächen voneinander trennte und in die dadurch entstandenen Zwischenräume sich ergoß. Derartige Massen, die in verschiedenen, in den folgenden beiden Querschnitten (Fig. 79 und 80) schematisch erläuterten Formen auftreten können, werden nach dem Vorgange von Gilbert als Lakkolithe bezeichnet. Dabei soll in Figur 80 die Linie *aa* die durch Denudation geschaffene heutige Oberfläche bezeichnen.

3. Das Magma erreicht die Oberfläche; die Form seines Auftretens kann in diesem Falle eine sehr mannigfaltige sein; wir unterscheiden zunächst die die Ausbruchsspalten erfüllenden Gesteinsmassen als Gänge

von den über dem Ausgehenden der Gänge abgelagerten Gesteinsmassen. Die letzteren sind in ihrer Form von dem größeren oder geringeren Grade von Dünnflüssigkeit bezw. von der größeren oder geringeren Durchtränkung des Magmas mit wässerigen Flüssigkeiten abhängig. Leichtflüssige Gesteine breiten sich an der Oberfläche zu Decken und Strömen von wechselnder Mächtigkeit und Ausdehnung aus, wobei die Neigungsverhältnisse der Unterlage eine bestimmende Rolle spielen. Zähflüssige Eruptivgesteine dagegen bilden entweder sogenannte Quellkuppen über dem Ausbruchsherde, d. h. glocken- oder domförmige Massen mit steiler, seitlicher Begrenzung, oder gleichfalls Decken, die sich aber von denen der leichtflüssigen Gesteine durch größere Mächtigkeit und geringere Horizontalerstreckung

Fig. 80.

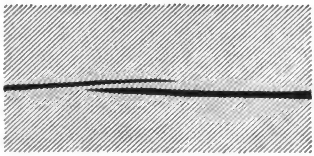


unterscheiden. Entsprechend der geringen, derartigen Magmen innewohnenden Bewegungsfähigkeit endigen solche Decken gewöhnlich mit sehr steilen Rändern, deren Höhe von der Mächtigkeit der Decke abhängig ist. Man unterscheidet die unter 1. und 2. angeführten Eruptivgesteine als plutonische, endogene, intrusive oder Tiefengesteine von den unter 3. angeführten vulkanischen, exogenen oder Oberflächenergüssen.

Wir beginnen die Besprechung dessen, worauf der Geologe bei der Auffindung von Eruptivgesteinen in einem Aufschlusse zu achten hat, mit der am leichtesten zu überblickenden Form ihres Auftretens, mit dem Gange. Die Gänge stellen die Kanäle dar, durch welche die vulkanischen Ergüsse mit dem Inneren der Erde in Verbindung stehen. Sie sind in vielen Fällen, zumal in jüngeren Formationen, direkt mit den an der Oberfläche weiterhin in Form von Kuppen oder Decken ausgebreiteten, gleichartigen Gesteinen verknüpft, oder treten uns, besonders in älteren Formationen, als isolierte Reste alter vulkanischer Tätigkeit entgegen. In diesem Falle sind durch die Denudation die zugehörigen Oberflächenbildungen wieder völlig zerstört worden.

Zunächst ist die Mächtigkeit des Ganges zu bestimmen; sie wird durch die Länge einer Linie quer durch den Gang hindurch gemessen, welche rechtwinklig auf dessen Begrenzungsflächen (Sahlbändern) steht. Diese Mächtigkeit kann von der Stärke weniger Zolle bis zu vielen Metern schwanken und ist auch an den verschiedenen Stellen des Ganges häufig verschieden. Auch kommen Fälle vor, in denen ein Gang scheinbar endigt und ein zweiter in entgegengesetzter Richtung endigender, in ganz geringer Entfernung und in derselben Richtung aufsetzt, wie es beispielsweise bei den Basaltgängen im fränkischen Keuper oft der Fall ist. Der nachfolgende Grundriß mag dies Verhältnis veranschaulichen. Der zweite Punkt der

Fig. 81.



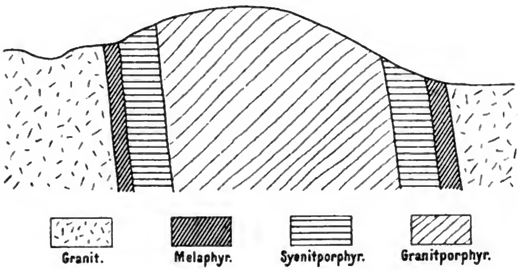
Festsetzung betrifft das Streichen des Ganges. Dieses wird nach der Himmelsrichtung in derselben Weise bestimmt, wie das Streichen geschichteter Gesteine, und man verfährt in diesem Falle nach der oben gegebenen bezüglichen Anleitung. Der dritte Punkt ist das Einfallen des Ganges, d. h. die Richtung, in welcher der Gang senkrecht zum Streichen in die Tiefe hinabsetzt, und der Winkel, welchen diese Neigung mit der Horizontalebene bildet. Auch diese Bestimmungen werden vollkommen in derselben Weise ausgeführt, wie bei den Sedimentärgesteinen. Setzt ein Gang senkrecht in die Tiefe, so ist sein Verlauf an der Oberfläche ein schnurgerader; ist er dagegen geneigt, so ist sein Ausstrich an der Oberfläche vom Terrain abhängig und bildet krumme Linien, deren gesetzmäßige, von dem Einfallswinkel abhängige Lage in Kapitel 24 besprochen werden wird.

Ist die Lage des Ganges im Raume festgestellt, so wende man sich nach der Untersuchung der petrographischen Beschaffenheit des Gesteins der näheren Feststellung einer Anzahl von Erscheinungen zu, die für die Kenntnis des Wesens der Eruptivgesteine von Bedeutung sind. Es ist zunächst zu ermitteln, ob der Gang in seiner ganzen Breite von gleichmäßiger Beschaffenheit ist. In vielen Fällen wird man keinen Unterschied zwischen der Gesteinsbeschaffenheit an den Rändern des Ganges und in seiner Mitte wahrnehmen können. In anderen Fällen dagegen wird man bestimmte Unterschiede in dieser Beziehung konstatieren können. Meist beziehen sie sich auf die Struktur: während das Innere des Ganges eine kristallinische Beschaffenheit

besitzt, können mit allmählichem oder sprungweisem Übergange die Ränder (Sahlbandgesteine) dicht oder glasig sein, oder eine schlackige Struktur besitzen. Im letzteren Falle können die entstandenen Hohlräume sekundär wieder ausgefüllt sein, so daß das Gestein des Sahlbandes als Mandelstein zu bezeichnen ist. Sehr häufig ist der Fall, daß gewisse Mineralien sich am Sahlbande neu einstellen oder fehlen, oder eine parallele Anordnung annehmen. Überhaupt sind alle Unterschiede in den Strukturverhältnissen und jeder regelmäßige oder unregelmäßige Wechsel in der mineralogischen Zusammensetzung vom Rande nach der Mitte hin zu ermitteln.

Wenn in einem Gange verschiedene Gesteine auftreten, so sind drei Fälle möglich: Entweder hat man es, wie in dem oben genannten Falle, nur mit verschiedenen Erstarrungsmodifikationen zu tun, — dies ist das gewöhnlichste Verhalten, welches man auch als endogene Kontaktmetamorphose bezeichnet hat, — oder aber es ist eine bereits von Eruptivgesteinen erfüllte Spalte zum zweiten Male aufgerissen, und auf ihr von neuem ein

Fig. 82.



Magma emporgedrungen, oder endlich es liegen von unten mit emporgerissene oder von oben in das flüssige Magma hineingestürzte fremde Einschlüsse vor. Es gehört zu den schwierigsten Fragen der Feldgeologie, mit Sicherheit zu entscheiden, welcher von diesen Fällen vorliegt. Einen gewissen Anhalt bietet der symmetrische oder unsymmetrische Bau eines solchen „gemischten" Ganges, in welchem mehrere Eruptivgesteine gleichzeitig auftreten. Besitzt er einen symmetrischen Bau, wie beispielsweise die gemischten Gänge bei Liebenstein im Thüringer Walde (Fig. 82), so ist man im allgemeinen zu der Annahme berechtigt, daß man es mit Erstarrungsmodifikationen zu tun hat. Ist die Anordnung der Gesteine aber eine unsymmetrische, d. h. ist die eine Seite des Ganges von einem anderen Gestein, als die andere Seite eingenommen, so liegt von vornherein der Gedanke nahe, daß man es mit zwei verschiedenen Eruptionen auf der-

selben Spalte zu tun hat. Indessen kann dieser letztere Fall auch bei einer Symmetrie des Ganges vorliegen, wenn nämlich die Aufreißung der alten Spalte nicht auf eine Seite des Ganges beschränkt ist, sondern auf seinen beiden Seiten oder gar in seiner Mitte erfolgte, denn es ist klar, daß in beiden Fällen gleichfalls eine symmetrische Anordnung der Gesteine die Folge sein muß.

In solchen Fällen kann nur eine ganz genaue, eventuell mikroskopische Untersuchung des Kontaktes der verschiedenen Gesteine zu einer sicheren Entscheidung führen.

Es ist weiter zu prüfen, in welcher Weise die an die Gangmassen angrenzenden Teile des Nebengesteins durch das aufsteigende glutflüssige Magma beeinflußt worden sind (exogene Kontaktmetamorphose). In sehr vielen Fällen wird eine derartige Untersuchung ein negatives Resultat haben, indem keinerlei Unterschiede des dem Gange benachbarten Gesteins gegen das weiterhin folgende wahrzunehmen sind. Vielfach aber sind solche Einwirkungen ganz unverkennbar. Man kann die hierher gehörenden Erscheinungen in zwei große Gruppen trennen: 1. in solche, die nur durch die hohe Temperatur des aufsteigenden Magmas (kaustische Metamorphose) und 2. in solche, die durch chemische Einwirkung der im Magma eingeschlossenen, unter hohem Drucke stehenden Gase und Flüssigkeiten erzeugt sind (hydatothermische Metamorphose).

1. Kaustische Metamorphose. Durchbrochene Sandsteine sind in der nächsten Nähe des Ganges teilweise geschmolzen und gefrittet, sie haben dadurch eine gewisse glasige Beschaffenheit erlangt und unterscheiden sich durch große Härte von den in weiterer Entfernung liegenden Teilen desselben Gesteins. Dazu kommt häufig noch eine gewisse Umfärbung, indem solche Sandsteine entweder eine Entfärbung oder im Gegenteil kräftigere, zumeist auf Eisenoxydfärbung beruhende Farbentöne zeigen. Manche schieferige Gesteine zeigen eine mit teilweisem Verluste der Schichtung verbundene Härtung und Färbung und Umwandlung in porzellan- oder jaspisartige Gesteine. Von Eruptivgesteinen durchsetzte oder überlagerte Stein- und Braunkohlen sind an der Kontaktstelle einem natürlichen Verkokungsprozesse unterworfen, haben ihre destillierbaren Kohlenwasserstoffe, je näher dem Eruptivgesteine desto vollständiger, verloren, und sind in dieser unmittelbaren Berührung in reinen Koks, in einer daran anschließenden Zone in Anthrazit verwandelt worden.

Gleichfalls in die Gruppe der kaustischen Umwandlungserscheinungen gehört die stenglige Absonderung des Nebengesteins rechtwinklig zur Grenze des beeinflussenden Eruptivgesteins. Dieselbe ist besonders schön da entwickelt, wo Sandsteine das Nebengestein bilden; sie finden sich ferner bei tonigen Gesteinen, auch bei dichten Tuffen und schließlich sehr schön bei der im Kontakt verkokten Kohle.

2. Hydatothermische Metamorphose. In diese Gruppe von Erscheinungen gehört die Umwandlung von Kalksteinen in reinen, zuckerkörnigen Marmor. Die dem gewöhnlichen Kalkstein fast niemals fehlenden Beimengungen von Eisen- und Tonerdeverbindungen, sowie von Silikaten haben sich bei dieser Gelegenheit unter gegenseitiger chemischer Umwandlung und unter dem Einflusse der überhitzten Dämpfe und Lösungen des Magmas in allerlei, meist schön kristallisierte Mineralien, Wollastonit, Vesuvian, Granat, Spinell, Glimmer u. a. umgewandelt, durch welche manche solcher Kontaktstellen zu berühmten Fundorten schöner Mineralien (Predazzo, Somma, Auerbach) geworden sind. Hierher gehört ferner die graduelle Umwandlung von Tonschiefern in Knoten-, Frucht- und Garbenschiefer, in dichte, splittrige Hornfelse und schließlich in kristallinische, an Glimmerschiefer und Gneis erinnernde Gesteine, die dann durch großen Reichtum an schönen Silikatmineralien ausgezeichnet sein können (Bündner Schiefer). Unreine Kalksteine werden durch hydatothermische Metamorphose in Kalkhornfelse, Schiefer im Kontakte mit Diabas unter Zufuhr von Natrium oftmals in Adinole, Hornschiefer und Spilosite verwandelt.

Liegen derartige Umwandlungen des Nebengesteins vor, so ist zu bestimmen, wie weit sie, rechtwinklig zum Gange gemessen, sich erstreckt haben. Man wird im allgemeinen die Beobachtung machen, daß der erhaltene Wert von der Mächtigkeit des Ganges abhängig ist, daß aber die Art des Eruptivgesteins und des Nebengesteins von großer Bedeutung sind (kalkreiche Gesteine werden sehr intensiv, Quarzite u. a. sehr wenig umgewandelt). In vielen Fällen ist diese Beeinflussung auf eine wenige Zentimeter mächtige Grenzzone beschränkt.

Große Sorgfalt ist dem Auftreten von fremdartigen Gesteinsmassen innerhalb des Eruptivgesteins bei der Untersuchung eines Ganges zuzuwenden. Wenn eine Spalte aufreißt, so stürzen naturgemäß von deren Seitenwänden zahlreiche Gesteinsstücke, die durch den Zerreißungsprozeß aus ihrem Verbande gelöst sind, in die Spalte hinein. Dringt nun ein Eruptivgestein in ihr empor, so nimmt es nicht nur diese Gesteinsstücke in seine Masse auf, sondern es reißt auch seinerseits noch von den Rändern der Spalte Brocken ab und schließt sie in sich ein. Es können auch Gesteinsstücke in die Spalte hineingestürzt sein aus Schichten, die der Denudation später vollständig zum Opfer gefallen sind. Sie wurden vom Magma eingeschlossen und können heute Zeugnis für das ehemalige Vorhandensein ganzer Formationen in dem betreffenden Gebiete ablegen. So hat bei Kassel, wo jetzt in weitem Umkreise kein Lias mehr vorhanden ist, dieser sein ehemaliges Vorhandensein durch Versteinerungen führende Brocken im Basalte verraten.

Solche fremden Gesteinseinschlüsse sind natürlich in derselben Weise der Einwirkung der Hitze oder der im Magma enthaltenen Gase und Flüssig-

keiten ausgesetzt, wie das Nebengestein und zeigen deshalb ganz analoge, oft sogar noch intensivere Umwandlungserscheinungen. Man wird also durch das Studium der letzteren in die Lage kommen, die in der Gangmasse selbst eingeschlossenen fremdartigen Stücke mit bestimmten Typen des durchbrochenen Gesteins zu identifizieren. Häufiger aber wird noch ein Rest von derartigen Gesteinen übrig bleiben, von welchem angenommen werden muß, daß er Bruchstücke des Nebengesteins aus größeren, der Beobachtung nicht direkt zugänglichen Tiefen darstellt. In manchen Fällen wird es nicht schwer sein, auch solche Gesteine ohne weiteres gleich richtig zu bestimmen, während in anderen Fällen selbst genaue mikroskopische Untersuchung nicht feststellen kann, von welchem Gestein solche Einschlüsse herrühren. In jedem Falle ist es von hoher Bedeutung, aus der Natur dieser Einschlüsse Schlüsse auf die in unzugänglichem Niveau in der Tiefe folgenden Gesteine zu ziehen.

Manche Eruptivgänge sind außerordentlich arm oder ganz frei von solchen Einschlüssen des Nebengesteins. In anderen Gängen häufen sie sich dermaßen, daß die Masse des Ganges zum großen Teile aus solchen Fragmenten des Nebengesteins besteht, so daß das eigentliche Eruptivgestein nur gewissermaßen eine Ausfüllungsmasse der Hohlräume zwischen den einzelnen Trümmern darstellt und quantitativ so zurücktritt, daß man direkt von Brecciengängen sprechen kann. Von dieser Art sind beispielsweise manche Basaltgänge im südlichen Schwarzwalde.

Bei der Untersuchung der Fremdkörper in einem Gange ist es von großer Bedeutung, sich vollkommene Klarheit darüber zu verschaffen, ob man es tatsächlich mit Bruchstücken des Nebengesteins zu tun hat, oder ob es sich nur um eigenartige Ausscheidungen im Magma selbst handelt; das beste Kriterium für die Entscheidung dieser Frage liefert die Form dieser fremden Massen. Besitzen diese eine scharf abgegrenzte Außenseite mit harten Konturen, und sind sie deutlich gegen das eigentliche Eruptivgestein abgesetzt, so wird man in den meisten Fällen mit Sicherheit annehmen können, daß man es mit Trümmern des Nebengesteins zu tun hat. Ist ihre Form dagegen eine mehr verschwommene, rundliche oder ovale, zeigt ihre mineralogische Zusammensetzung geringere Abweichungen von derjenigen des Eruptivgesteins, und ist der Einschluß mit dem Gestein durch Übergangszonen verbunden, so wird man hier an Ausscheidungen im Magma zu denken haben. In sehr vielen Fällen wird nur eine mikroskopische Untersuchung des Grenzgebietes zwischen Einschluß und Gestein eine endgültige Entscheidung liefern können.

Sehr häufig wird man in die Lage kommen, eine bestimmte Antwort nicht zu geben. Dann liegt der Schluß nahe, daß ein fremder Einschluß zu Grunde liegt, daß derselbe vom Magma zum Teil verdaut (resorbiert) wurde, aber, da dies nur unvollkommen geschehen ist, nun den Eindruck

einer Ausscheidung aus diesem Magma macht. Alle Daten sind zu sammeln, welche zur Aufklärung dieser Frage dienen können, z. B. die verschiedenen Stadien einer solchen Verdauung.

Tritt uns ein Eruptivgestein im Aufschlusse nicht als Gang entgegen, sondern in derjenigen Form, die es nach seinem Austritte an die Erdoberfläche angenommen hat, so sprechen wir je nach dem Verhältnisse von Länge und Breite von Strömen oder Decken. Der einfachste und am bequemsten zu überblickende Fall ist der, daß seit der Ablagerung der Decke keine weitere Schichtenbildung darüber stattgefunden hat, diese also heute noch die Oberfläche darstellt. Bei deckenförmigen Ergüssen hat man zunächst wieder, wie bei den Gängen, die Mächtigkeit, sowie die Lage im Raume nach Streichen und Fallen zu bestimmen, und ferner den verschiedenartigen Erstarrungsformen und Beeinflussungen des Nebengesteins und der Einschlüsse seine Aufmerksamkeit zuzuwenden. Ursprünglich zeigen die Decken auf der unteren und oberen Abkühlungsfläche gewöhnlich starke Unterschiede gegen den mittleren Teil, indem letzterer meist eine homogene oder kristallinische Struktur, erstere dagegen eine mehr schlackige, blasige, poröse, manchmal auch glasige Ausbildung besitzen. In vielen Fällen ist sogar noch die direkte Oberfläche des Stromes zu beobachten, die völlig mit der der modernsten Lavaströme übereinstimmt und entweder als Fladen- oder als Schollenlava ausgebildet ist. Natürlich verschwinden solche Unterschiede am leichtesten auf der der Verwitterung ausgesetzten Deckenoberfläche. Die Beeinflussung des Nebengesteins ist natürlich auf die Unterlage der Decke beschränkt.

Ist nach der Ablagerung eines Deckenergusses die Sedimentbildung auch weiterhin vor sich gegangen, so sehen wir das Eruptivgestein als ein koordiniertes Glied einer Schichtenfolge eingeschaltet. In diesem Falle bieten sich der Beobachtung verschiedene neue Momente. Es ist festzustellen, ob die Schichten unter und über der Decke in einem und demselben Ablagerungsmedium gebildet (isomesisch) sind, und ob dieses Medium Meerwasser, Süßwasser oder Luft war. Als Kriterien sind hierbei dieselben Umstände zu benutzen, wie bei der Schichtenbestimmung im allgemeinen. Es ist fernerhin zu prüfen, ob die Ablagerung der auf das Eruptivgestein folgenden Schichten kurze Zeit nach dem Ergusse erfolgte oder ob ein größerer Zwischenraum dazwischen liegt. In dem ersten Falle wird das spätere Sediment die Lücken der unregelmäßig gestalteten Oberfläche des Ergusses vollständig ausfüllen und mit ihm gewissermaßen verzahnt sein, während im zweiten Falle diese obere Erstarrungskruste in den meisten Fällen einer Zerstörung anheimgefallen sein wird, so daß die weitere Sedimentbildung eine neue, ebenere, von der ursprünglichen durchaus verschiedene Auflagerungsfläche vorfand.

Wo immer man es mit exogenen Eruptivgesteinen zu tun hat, trachte

man danach, in ihrer Nähe zugehörige lose vulkanische Produkte aufzufinden. Es wird dies umso eher gelingen, je geringer die Zeit ist, die seit der Bildung der Gänge und Decken verstrichen ist, je jünger also das vulkanische Gestein ist. Die jüngsten dieser Gebilde, d. h. die posttertiären, besitzen zum großen Teil noch die zugehörigen Tuffmassen in einem solchen Umfange und in solcher Lagerung, daß man unschwer die alten vulkanischen Herde erkennen kann, während die älteren Vulkane des Tertiärs und früherer Formationen ihre Form durch Abtragung gewöhnlich so weit verloren haben, daß im Terrain keine Andeutung mehr davon vorhanden ist. Die am Aufbau des Vulkanes beteiligt gewesenen Tuffe können aber trotzdem noch in inniger räumlicher Verknüpfung mit den festen Eruptivmassen vielfach zu beobachten sein. Manchmal wird es bei Decken noch möglich sein, die Richtung der Fließbewegung und die Lage des zugehörigen vulkanischen Herdes selbst dann noch einigermaßen zu bestimmen, wenn nur noch kleine Reste einer einst ausgedehnten Decke vorhanden sind. Als Anhaltspunkt für solche Richtungsbestimmung kann die Lage von Blasenräumen resp. der aus ihnen durch Ausfüllung entstandenen Mandeln dienen, die fast immer in der Richtung der Fließbewegung etwas in die Länge gezogen sind. Vgl. außerdem S. 80.

Die Untersuchung endogener Eruptivgesteine, also lakkolithartiger Intrusivmassen, die jetzt durch Abtragung der überlagernden Schichten an die Oberfläche der Erde gelangt sind, erfordert einen sehr hohen Grad von Übung, Aufmerksamkeit und Scharfsinn. Es kommt vor allen Dingen darauf an, den Nachweis zu führen, daß diese Gesteine in der Tat in den Verband präexistierender Schichten hineingequetscht sind. Da im Profile meist kein direkter Unterschied zwischen einer in ein Schichtensystem eingeschalteten Decke und einer in ein solches eingepreßten Intrusivmasse besteht, so kommt es in erster Reihe darauf an, an anderen Unterschieden die jeweilige Entstehungsweise zu erkennen. Die wichtigsten dieser Unterscheidungen sind folgende:

1. Eine Intrusivmasse beeinflußt in gleichem Sinne die unter- und überlagernden Gesteine, eine Decke dagegen natürlich nur die Unterlage, da das Hangende ja zur Zeit ihrer Bildung noch nicht vorhanden war. Beobachtet man also eine der auf S. 108 und 109 angegebenen Erscheinungen der Kontaktmetamorphose oberhalb und unterhalb eines Eruptivgesteins, so kann man mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Intrusivmasse schließen.

2. Eine Intrusivmasse kann gangartige Ausläufer (Apophysen) in das Hangende und Liegende entsenden, eine Decke dagegen nur in das Liegende. Auch diese Unterscheidung erklärt sich auf das einfachste durch die Unterschiede der Entstehung.

3. Eine Intrusivmasse kann Stücke des im Hangenden folgenden Gesteins

als Einschlüsse beherbergen, eine Decke dagegen nur solche aus älteren, liegenden Schichten. Findet man bei der Prüfung einer Einlagerung von Eruptivgestein das Zusammenauftreten oder Fehlen mehrerer dieser Punkte, so wird die Entscheidung, ob Intrusivmasse, ob Decke, nicht schwer fallen. Man könnte als weitere Unterscheidungsmerkmale noch hinzufügen, daß die Einschaltung von Tuffen in einer Schichtenfolge, in welcher ein analoges Eruptivgestein sich findet, gegen dessen Charakter als Intrusivmasse und für seine Deckennatur spricht, da in der Begleitung intrusiver Massen niemals Tuffe auftreten können.

Wenn ein Eruptivgestein in räumlich sehr ausgedehnten Massen zu Tage tritt, wie vielerorten der Granit, so hat die Beobachtung, abgesehen von den bereits bei gangartigen Vorkommnissen genannten Punkten, vor allem sich darauf zu richten, ob in der meist recht gleichmäßig struierten Gesteinsmasse sogenannte S c h l i e r e n auftreten. Man versteht darunter an farbig marmorierte Seife erinnernde Partien, welche entweder nach ihrer Struktur oder nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung oder nach beiden von der Hauptmasse des Gesteins stark abweichen, aber durch Übergänge mit ihr verbunden sind. Es ist zu untersuchen, ob irgend welche Erscheinungen vorliegen, die eine sichere Beantwortung der Frage gestatten, ob im vorliegenden Falle die Bildung der Schliere auf einer ursprünglichen Differenzierung des Magmas beruht, oder ob sie aufgelösten Einschlüssen anderer Gesteine zuzuschreiben oder auf Nachschübe eines etwas anders zusammengesetzten Magmas zurückzuführen ist.

An den Rändern derartiger Eruptivgesteinsgebiete ist zu beachten, ob von der Hauptmasse aus sich Gänge abzweigen, die bisweilen weit in das Nebengestein hinein sich erstrecken, und es ist zu untersuchen, in welcher Weise die verschiedenartige räumliche Begrenzung die petrographische Beschaffenheit und die Struktur des Ganggesteins gegenüber dem Hauptgestein verändert.

Es ist ferner an solchen Grenzen ausgedehnter Eruptivmassen auf die gewöhnlich sehr auffälligen und bis auf große Entfernung hin sich äußernden Einwirkungen des heißen, von Flüssigkeiten und Gasen durchtränkten Magmas auf das Nebengestein zu achten.

Im allgemeinen ist anzunehmen, daß diese Umwandlung der Nebengesteine unmittelbar an der Berührungsstelle mit dem Eruptivgestein am größten ist, nach den Seiten zu mit der Entfernung abnimmt und schließlich verschwindet. Man hat zu versuchen, in einem solchen Kontakthof eine Gliederung nach dem Grade der Gesteinsumwandlung zu erkennen und kartographisch zum Ausdruck zu bringen.

In manchen Fällen ist das Eruptivgestein nirgends zu Tage anstehend, sondern überall noch durch eine Decke kontaktmetamorphisch beeinflußter Gesteine verhüllt. Auch in diesem Falle kann man durch genaue Beobach-

tung der Verbreitung der letzteren und der Intensität der Umwandlung oftmals Schlüsse auf Lage, Größe und Oberflächenform der Eruptivgesteinsmasse ziehen.

Kapitel 16.

Was ist auf geologischen Karten darzustellen?

Was ist auf geologischen Karten darzustellen? Diese für die Kartierung außerordentlich wichtige Frage ist in manchen Punkten sehr einfach zu beantworten, während sie in anderen an den Scharfsinn und vor allen Dingen an das Taktgefühl des aufnehmenden Geologen ziemlich hohe Anforderungen stellt. Sie läßt sich in keiner Weise schematisch beantworten, sondern muß gewissermaßen von Fall zu Fall entschieden werden und ist nach einer Reihe von Gesichtspunkten, die nach den verschiedenen Gegenden wechseln, zu lösen.

Unter allen Umständen sind die Grenzen zwischen eruptiven und geschichteten Gesteinen darzustellen. Da, wo die Eruptivgesteine, wie in vielen Gängen, nur eine geringe Mächtigkeit besitzen, wird es oftmals nötig sein, die Breite ihres Ausstreichens stark übertrieben darzustellen. So ist es beispielsweise ganz unmöglich, im Maßstabe der Meßtischblätter 1 : 25 000 einen Basaltgang, der oftmals nur 1 m Mächtigkeit und darunter besitzt, in natürlicher Weise einzutragen, da schon eine dünne Linie auf der Karte eine größere wirkliche Breite darstellt.

Bei den Sedimentärgesteinen ist die erste und hauptsächlichste Abgrenzung diejenige nach Formationen, wobei die obere und die untere Grenze einer jeden Formation auf der Karte zum Ausdruck zu bringen ist, und innerhalb der großen Formationsgruppen wiederum sind die einzelnen Unterabteilungen in derselben Weise nach oben und unten hin durch feste Grenzlinien in ihrer Verbreitung anzugeben. In unserem Vaterlande ist für alle Gebiete diese Gliederung nach Formationen und zum großen Teil auch nach deren Unterabteilungen so weit durchgeführt, daß der aufnehmende Geologe nur in seltenen Fällen in die Lage kommen wird, auf Grund neuer Beobachtungen von dem hergebrachten Schema abzuweichen und seine Grenze einer Formation nach oben oder unten etwas zu verlegen.

Die ältesten geologischen Karten wurden als geognostische oder mineralogische bezeichnet und gaben Grenzen, die ausschließlich nach petrographischen Gesichtspunkten gezogen wurden. In derselben Weise muß der Geologe aber auch heute noch so lange arbeiten, als er nicht durch Auffindung von Versteinerungen die genauere Altersstellung der betreffenden Schichten erkannt hat. So wurde auf jenen alten Karten beispielsweise das ganze paläo-

zoische Schiefergebirge Ostthüringens, welches nach später gewonnener Erkenntnis die Formationen vom Kambrium bis zum Kulm umfaßt, als ein einheitliches Gebilde dargestellt. Heute werden die geologischen Grenzen teils nach stratigraphischen, teils nach petrographischen, neuerdings mehr und mehr nach rein paläontologischen Gesichtspunkten gezogen. Auch die Gliederung innerhalb einer Formation in einzelne Stufen beruht in der Hauptsache auf den paläontologischen Befunden, während man in den Formationen, die ganz frei von Versteinerungen oder sehr arm daran sind, vorwiegend nach petrographischen und stratigraphischen Gesichtspunkten (Diskordanz oder übergreifende Lagerung) die Entscheidung darüber zu treffen hat, wo man mit einer Formation aufhört und eine neue beginnen läßt. Für die rein praktische Kartierungsarbeit tritt indessen der Gehalt einer Schicht an Versteinerungen in den Hintergrund. Man verfährt vielmehr so, daß man sich die kleinsten Einzelheiten jeder durch ihre Fossilienführung ihrer Altersstellung nach genau erkannten Schicht auf das sorgsamste einprägt und bei ihrer weiteren Verfolgung vor allen Dingen nach den dadurch gewonnenen Gesichtspunkten verfährt. Natürlich ist bei einer solchen Methode auf das genaueste zu beachten, ob nicht etwa in der horizontalen Verbreitung der Schicht ein Fazieswechsel eintritt.

Für die Frage nun, was innerhalb der einzelnen Stufen auf der Karte zum Ausdruck zu bringen ist, sind drei Gesichtspunkte maßgebend:

1. Das petrographische Verhalten.
2. Die Fossilienführung.
3. Die technische Bedeutung.

1. Das petrographische Verhalten[1]): Wenn man einen großen Schichtenkomplex vor sich hat, in welchem die einzelnen Schichten petrographisch übereinstimmen, so wird man ihn in den meisten Fällen zu einem geologischen Ganzen zusammenzufassen haben und auf der Karte erst da eine Grenze eintragen, wo eine neue Gesteinsreihe von abweichender Zusammensetzung beginnt. Eine Ausnahme in dieser Beziehung kann nur da eintreten, wo die Fossilienführung innerhalb dieses Komplexes klar erkennen läßt, daß man in ihm zwei oder mehr verschiedene aufeinanderfolgende Stufen von geologisch verschiedenem Alter vor sich hat, in welchem Falle natürlich trotz der petrographischen Einheitlichkeit eine Grenze da zu ziehen ist, wo die Versteinerungen der einen Schicht aufhören und durch die einer anderen ersetzt werden. Ebenso hat man einen Schichtenkomplex einheitlich darzustellen, in welchem in kurzer Folge zwei oder mehr verschiedenartig entwickelte Gesteine so miteinander wechseln, daß es infolge der geringen Mächtigkeit der einzelnen Bänke nicht möglich

[1]) Solche petrographisch verschiedene Ablagerungen, die zugleich technisch nutzbare Lagerstätten darstellen, sind unter 3. behandelt.

ist, im Maßstabe der Karte diesen Wechsel zum Ausdruck zu bringen. Wenn z. B. reine und tonige Sandsteine in ununterbrochener Folge übereinander lagern, oder reine Kalksteine mit tonigen Kalksteinen oder Mergeln in inniger Wechsellagerung sich befinden, oder wenn Tone mit zahlreichen dünnen Gipslagen wechseln, oder wenn Sande zahlreiche dünne Kiesbänkchen enthalten, sowie in allen ähnlichen Fällen wird man die betreffende Schichtenreihe in der Kartendarstellung zusammenfassen und die erkannte Wechsellagerung in der zugehörigen Farbenerklärung ausdrücken. Tritt dagegen in einer mehr oder weniger mächtigen Folge von gleichartigem Gestein an irgend einer Stelle eine Schicht auf, die sich durch ihre Zusammensetzung oder durch das Hinzutreten bestimmter Mineralien auffällig von den übrigen Gesteinen des betreffenden Komplexes unterscheidet, so wird man sie auch in der Karte darzustellen haben und dies umso eher, wenn der betreffende Horizont eine weite Verbreitung besitzt und durch diesen Umstand dazu führen kann, die Lagerungsverhältnisse der ihn einschließenden fremden Schichtenfolge klarzustellen. Aber auch räumlich weniger ausgedehnte Gesteine derartig abweichenden Charakters wird man darstellen müssen, wenn sie durch überwiegende Ausdehnung im Streichen oder durch mehrfach sich wiederholendes Auftreten in immer demselben Horizonte dazu dienen können, den geologischen Bau zum klareren Ausdruck zu bringen.

Wir wollen nun im folgenden die einzelnen Formationen von diesem Gesichtspunkte aus betrachten, bemerken aber ausdrücklich, daß die folgenden Ausführungen sich nur auf in Deutschland beobachtete Verhältnisse beziehen und auch da keine durchgängige Gültigkeit beanspruchen sollen, und daß die angegebenen, in der Karte auszusondernden Einlagerungen in keiner Weise den Stoff erschöpfen, sondern nur als charakteristische Beispiele dienen sollen. Für die genauere Gliederung der Formationen nach petrographischen und paläontologischen Gesichtspunkten sind die bekannten Lehrbücher einzusehen.

In der versteinerungsleeren archäischen Formation beruht die Darstellung auf der Karte ganz ausschließlich auf petrographischen Unterschieden. Das Hauptgestein dieser Gruppe, der Gneis, besitzt eine so mannigfache mineralogische und strukturelle Zusammensetzung, daß es nicht möglich ist, an dieser Stelle eingehend zu besprechen, welche Gruppen zusammenzufassen sind, umsoweniger, als fast in jedem Gneisgebiete die Aufeinanderfolge der petrographisch verschiedenen Gesteine wechselt. Dagegen enthält die Gneisformation eine Reihe von Gesteinen, zumeist als linsenförmige Einlagerungen, die sich außerordentlich von den gewöhnlichen Gneisen unterscheiden und auf der Karte auszuscheiden sind. Dahin gehören Gesteine wie der Serpentin, der Amphibolit, der Eklogit, der Olivinfels, der kristallinische Kalk, also Gesteine, die so auffällig sich von der einförmigen Gneisreihe unterscheiden, daß sie auf den ersten Blick und im

kleinsten Stück sich als etwas Besonderes und Eigentümliches erkennen lassen. Diese sind in sorgsamer Weise nach ihrer Begrenzung darzustellen, und dies umsomehr, als sie ein wesentliches Hilfsmittel darstellen, den Bau der Gneisgebirge zu erkennen. Bei der Untersuchung der Gneisgebiete sind die verschiedenen Färbungen (roter und grauer Gneis des Erzgebirges), die Struktur (ob flaserig, schuppig, körnig, mit „Augen" versehen etc.), die Größe der Gemengteile (feinkörnig, grobkörnig, Riesengneis), die mineralogische Zusammensetzung (Hornblende-, Dichroit-, Ein- und Zweiglimmergneis etc.), kurz alle diejenigen Umstände zu beachten, die eventuell Beweispunkte für die vielumstrittene Frage nach der Entstehung der Gneisformation (oberuptiv, sedimentär oder metamorph) beizubringen im stande sind.

In der nächstjüngeren Abteilung der kristallinischen Schiefer, einschließlich des Kambrium, in welcher die Glimmerschiefer und Phyllite eine hervorragende Rolle spielen, treten ebenfalls eine Reihe von Gesteinen auf, die wegen ihrer von jenen gänzlich verschiedenen Beschaffenheit einer besonderen Darstellung würdig sind. Dahin gehören die Einlagerungen von Porphyroiden, von gneis- und granitartigen Gesteinen, von Amphibolgesteinen, von graphitreichen Schiefern, von Quarzit, von Serizitschiefern und schließlich von Kalksteinen und Dolomit. Übrigens finden sich Gesteine vom Typus der Glimmerschiefer und Phyllite in manchen Gegenden, z. B. in den Zentralalpen, unter Verhältnissen (Lagerung und Versteinerung), die es als sicher erscheinen lassen, daß sie durch Metamorphose aus verhältnismäßig jugendlichen (jurassischen) klastischen Sedimenten hervorgegangen sind, und man wird deshalb gut tun, auch in anderen Gebieten mit großer Sorgfalt zu untersuchen, ob nicht doch etwa organische Reste vorkommen, die dann natürlich vom höchsten Werte sind. Eine besondere Veranlassung zu einer solchen Prüfung wird man dann haben, wenn das Auftreten von Fleckschiefern oder Hornfelsen den Verdacht auf metamorphe Entstehung nahe legt, oder wenn sich womöglich Einlagerungen von Gipsen finden, deren Auftreten in sehr alten Schichten höchst unwahrscheinlich ist. In solchen Fällen wird besonders das Auftreten von Kalkknotenschiefern, Kalkphylliten oder ähnlichen kalkreichen Gesteinen ein Sporn zu genauerer Prüfung auf organische Reste in denselben. (Vgl. auch das Kapitel über Aufsuchung von Versteinerungen.)

Die Silurformation besteht in der Hauptsache aus Sandsteinen, Tonschiefern, Grauwacken und Kalksteinen. In dieser Schichtenfolge, die nach wesentlich paläontologischen Gesichtspunkten in die einzelnen Abteilungen der Silurformation zu gliedern ist, findet sich nun eine Reihe von Gesteinen als Einlagerungen oder als durchgehende Bänke, die wohl unterschieden werden müssen. Dahin gehören beispielsweise die Kieselschiefer, die Ockerkalke, die Quarzite, die Alaunschiefer und andere Gesteine.

Auch die Devonformation besteht in der Hauptsache aus Ton-

schiefer, Sandstein, Quarzit und Grauwacke. Daneben aber finden sich noch in verschiedenen Gebieten wechselnde Einlagerungen von Korallen- und Knollenkalken, Kalkknollenschiefern, Kramenzelkalken, Diabasbreccien, Schalsteinen, Porphyroiden, verkieselten Schiefern, die besonders darzustellen sind.

In der aus Konglomeraten, Sandsteinen, Grauwacken, Schiefertonen und Steinkohlen bestehenden Karbonformation treten als besonders auffällige Gesteine in der unteren Abteilung stellenweise Kieselschiefer und Kalke auf, die in der Darstellung auszuscheiden sind.

Die Formation des Rotliegenden, die in der Hauptsache aus Konglomeraten, Sandsteinen und Schieferletten besteht, enthält eine ganze Reihe von anders gearteten und auszuscheidenden Gesteinen: dahin gehören die stellenweise in dieser Formation auftretenden Kohlenflöze, Tone, die reich sind an meist in Knollen auftretenden Kalken, Sandsteine, die eine große Menge von Feldspat oder Kaolin enthalten und als Arkosen bezeichnet werden, und reine Quarzsandsteine.

In der aus Kalksteinen, Dolomiten und Letten bestehenden Zechsteinformation sind es vor allen Dingen die Gipslager, die zelligen Rauchwacken, die Plattendolomite und die in der Zechsteinformation des Harzes als Gipsresiduen auftretenden, aus Dolomitkriställchen bestehenden sogenannten „Aschen“, die eine besondere Darstellung verlangen.

Das unterste Glied der Trias, der Buntsandstein, besteht im großen und ganzen in seiner unteren und mittleren Abteilung aus gröberen oder feineren Sandsteinen und in seiner oberen aus sandigen und bisweilen mergeligen Letten. Neben diesen vorwaltenden Gesteinen aber finden sich eine Reihe von meist wenig mächtigen Gesteinslagen von abwechselnder Zusammensetzung, die gerade in dieser außerordentlich eintönigen Formation von Bedeutung für die Gliederung und die Erkennung der Tektonik werden. Dahin gehören beispielsweise im unteren Buntsandstein des Harzgebietes die in einer oder mehreren Bänken auftretenden Lager von Rogenstein, ferner grobe, konglomeratische Bänke, sowie am Harz und an der Mosel Einlagerungen von Dolomiten. In dem meist aus tonigen Schichten bestehenden oberen Buntsandstein, dem Röt, finden sich Einlagerungen von Gipsen, Dolomiten und Kalksteinen.

Die mittlere Stufe der Trias, der Muschelkalk, besteht, wie schon der Name sagt, vorwiegend aus kalkigen Gesteinen, zu denen in der mittleren und oberen Abteilung noch mächtig entwickelte Mergel treten. Als petrographisch verschiedene Gesteine werden in dieser Reihe die Schaumkalkbänke des unteren Muschelkalkes und die Gipslager und zuweilen die Zellenkalke des mittleren Muschelkalkes besonders unterschieden, wozu noch in dem als Muschelsandstein ausgebildeten unteren Muschelkalke Westdeutschlands leicht unterscheidbare Dolomitbänke treten.

Die obere Trias, der Keuper, besteht in der Hauptsache aus tonigen und mergeligen Gesteinen von geringer Widerstandsfähigkeit, in denen die anders beschaffenen Einlagerungen umso schärfer hervortreten und umsomehr besonders darzustellen sind, als sie für die Gliederung dieser sonst sehr eintönigen Formation eine große Bedeutung besitzen. Zu diesen Gesteinen gehören vor allen Dingen die in mehreren Horizonten auftretenden Sandsteine und Arkosen, ferner Gipslager und die aus ihrer Auslaugung entstandenen Residualbildungen, sodann Dolomite und eine Anzahl von Kalkbänken, die in dieser Formation im allgemeinen als Steinmergel bezeichnet werden.

Im unteren Jura, im Lias, ist die Gliederung und damit die Eintragung der Grenzen fast ausschließlich durch paläontologische Gesichtspunkte gegeben, wobei allerdings mit dem paläontologischen Wechsel oft zugleich ein petrographischer Hand in Hand geht. Infolgedessen sind in dieser Abteilung besondere Gesteine nur wenig zum Ausdruck zu bringen. Dagegen verlangen im Lias und Dogger nach dem unter 3. (technische Bedeutung, S. 112) entwickelten Gesichtspunkte manche Bildungen besondere Darstellung.

Der mittlere Jura oder Dogger, der aus Sandsteinen, Tonen, Mergeln und Kalksteinen besteht, ist ebenfalls wie der Lias nach rein paläontologischen Gesichtspunkten gegliedert und enthält nur selten besonders darzustellende, petrographisch abweichende Gesteine.

Dasselbe ist der Fall mit dem oberen Jura oder dem Malm, der in der Hauptsache aus Kalksteinen besteht und nur untergeordnet Kalkmergel und Dolomite führt, letztere oft als Schwammkalke oder Riffdolomite entwickelt.

Die Kreideformation besitzt in den verschiedenen Gebieten ihres Auftretens eine außerordentlich mannigfache Zusammensetzung. Neokom und Wealden bestehen vorwiegend aus Tonen und Kalksteinen und führen örtlich Sandstein. Der Gault enthält dunkle Tone und Mergel ebenfalls mit Sandsteinen und schließt nach oben hin im Harzgebiete mit hellem, dunkel geflammten Mergel, dem sogenannten Flammenmergel, ab. Im Cenoman findet sich eine große Mannigfaltigkeit von Gesteinen: in Westfalen glaukonitische Sandsteine, Tone und Mergel, nördlich vom Harze tonige Kalke und Kalksteine, im Königreich Sachsen und in Böhmen vorwiegend Sandsteine. Das Turon besteht im nordwestlichen Deutschland ebenfalls aus kalkreichen Mergeln und Kalksteinen, während es in Sachsen und Böhmen in seinem unteren Teile Sandstein, im oberen Kalk und Mergel führt. Das Senon wird in Norddeutschland von der Schreibkreide, in der Gegend von Aachen aus glaukonitischen Sanden und eigentümlichen „Kreidetuffen", in Westfalen aus Mergel und Sandstein, in Sachsen und Böhmen im unteren Teile aus Mergel, im oberen

aus Sandstein, im Harzgebiete ebenfalls aus Mergel und Sandstein zusammengesetzt. Die Gliederung der ganzen Formation erfolgt wesentlich nach der Fossilienführung, wobei der ungemein häufige Fazieswechsel besondere Sorgfalt beansprucht.

Von den Gliedern der Tertiärformation besitzt in Deutschland das Eozän nur eine äußerst geringe Verbreitung im unteren Elbgebiete, im Elsaß und in den Alpen und kann deshalb hier übergangen werden. Die übrigen Abteilungen des Tertiärs werden bei der kartographischen Darstellung nach zwei verschiedenen Gesichtspunkten behandelt. In der einen Gruppe, bei dem marinen Tertiär, ist die Gliederung in der Hauptsache auf die Fossilienführung begründet, während in den an organischen Resten armen Ablagerungen der sogenannten Braunkohlenformation des untersten Oligozäns und des Miozäns vorwiegend petrographische und stratigraphische Momente zu berücksichtigen sind. Diese an versteinerungsführenden Schichten sehr armen Ablagerungen setzen sich zusammen aus Quarzsanden in allen Korngrößen bis zur Staubfeinheit herunter, gröberen Quarzkiesen, Tonen in allen Übergängen von den fettesten bis zu den magersten und den Braunkohlen selbst. Wenn die einzelnen Glieder eine bedeutende Mächtigkeit erlangen, so daß sie eine gesonderte Darstellung in der Karte zulassen, so sind sie zu unterscheiden. Tritt aber ein häufiger Wechsel zwischen Sanden und Tonen ein, wobei die einzelnen Schichten nur eine geringe Mächtigkeit besitzen, so ist der betreffende Komplex im allgemeinen zusammenzufassen und ein einzelnes Glied desselben nur dann nach seiner räumlichen Erstreckung abzugrenzen, wenn es infolge der horizontalen Lagerung und des ebenen Geländes einen größeren Oberflächenraum einnimmt.

Das an Versteinerungen in den meisten Fällen so außerordentlich arme Diluvium ist nach rein petrographischen und stratigraphischen Gesichtspunkten zu gliedern, und bei seiner meist horizontalen Lagerung ist es möglich, auch geringer mächtige Schichten in ihrer Oberflächenverbreitung oder in ihrem Ausstreichen an Talrändern zur Darstellung zu bringen. Die Hauptgliederung des Diluviums, soweit es im Bereiche der Verbreitung eiszeitlicher Gletscher liegt, ist gegeben nach der Entstehung der einzelnen Schichten unter dem Eise (Grundmoränen), am Rande desselben (Endmoränen) oder durch die Schmelzwasser des Eises in Seen und Flüssen (fluvio-glaziale Bildungen), und im letzteren Falle ist zu unterscheiden, je nach der Korngröße des betreffenden Sedimentes, zwischen Tonen, Mergelsanden, Sanden, Kies und Geröllablagerungen, sowie, nach dem Absatzorte aller dieser Bildungen, zwischen solchen der Hochflächen, der Täler und alten Seebecken. Dazu kommt noch der durch äolische Umlagerung entstandene weit verbreitete Löß. Besonders auszuscheiden sind innerhalb der Diluvialablagerungen solche Schichten, die in der Periode zwischen zwei Eiszeiten entstanden sind, wie Kalktuffe, Süßwasserkalke, Diatomeenlager und Torf-

lager, Sedimente, die durch ihre organischen Reste in den meisten Fällen ihre unter anderen klimatischen Verhältnissen erfolgte Ablagerung verraten. Dabei ist zwischen marinen und Süßwasserbildungen zu unterscheiden.

Die Grenzenziehung innerhalb der alluvialen Schichten hat ausschließlich nach petrographischen Gesichtspunkten zu erfolgen. Die große Mannigfaltigkeit der hierher gehörenden jüngsten Bildungen kann man zweckmäßig nach dem vorwaltenden Gebilde in eine Anzahl von Gruppen einteilen; nämlich in

1. humose (Grünlandtorf, Hochmoortorf, Moorerde, Moormergel)
2. kalkige (Kalktuff, Wiesenkalk)
3. tonige (Schlick, Wiesenton, Wiesenlehm)
4. sandige (Flugsand, Flußsand, Seesand, Strandsand)
5. eisenreiche (Raseneisenstein, Ortstein, Vivianit)
6. aus organischer Kieselsäure bestehende (Diatomeenerde)

} Bildungen.

2. Fossilienführung: Abgesehen davon, daß die ganze Gliederung der Gesteine von den ältesten paläozoischen Bildungen bis zu den jüngsten auf dem Wechsel der tierischen und pflanzlichen Lebewesengesellschaften basiert ist, kommen für die Kartendarstellung noch eine Reihe von Schichten in Betracht, die durch das vorwaltende Auftreten eines einzelnen Geschöpfes oder weniger Arten so vortrefflich charakterisiert sind, daß sie es verdienen, als auffällige, leitende, und leicht zu findende Horizonte in der Karte besonders dargestellt zu werden. In vielen Fällen sind vom paläontologischen Gesichtspunkte aus auch kleine, linsenförmige Einlagerungen in der Kartendarstellung wiederzugeben, wenn sie durch Reichtum an Petrefakten sich auszeichnen, oder womöglich die einzigen Träger von solchen in einer sonst versteinerungsleeren Schichtenreihe sind, oder auch dann, wenn sie versprechen, bei genauerer, dem kartierenden Geologen oft nicht möglicher Durchforschung Petrefakten, und damit Anhaltspunkte für die Altersbestimmung zu liefern. Es gehören dahin im thüringischen Kambrium die durch das häufige Auftreten eines Tanges gekennzeichneten Phycodenschichten, in der Silurformation die durch ihren hervorragenden Reichtum an Graptolithen ausgezeichneten Tonschiefer oder Kieselschiefer und die Orthocerenkalke. In der Devonformation sind es vor allen Dingen die entweder als mächtige Schichtenfolge oder als minder mächtige Einlagerungen innerhalb der Schiefertone auftretenden Kalke mit einer an Brachiopoden, Cephalopoden oder Crinoiden reichen Fauna, Schichten, die allerdings auch petrographisch sich schon scharf von den übrigen Gesteinen unterscheiden, ferner die Tentakulitenschichten und die korallenreichen, oft in Riffform auftretenden Kalke. Im Rotliegenden ist es vor allen Dingen ein an Fischresten reicher Horizont im mittleren Rotliegenden, der durch seine weite Verbreitung und seine

Bedeutung für die Gliederung der Formation ebenfalls besondere Darstellung in der Karte erheischt.

In der Zechsteinformation sind nach diesem Gesichtspunkte die durch die Tätigkeit von Bryozoen gebildeten Dolomitriffe gebührend hervorzuheben.

Im Buntsandstein sind zwei durch ihre organischen Reste gekennzeichnete Schichten, da wo sie auftreten, auch darzustellen: einmal die Chirotheriensandsteine (auch wegen ihrer technischen Bedeutung als Bausteine) mit ihren auffälligen Fährtenabdrücken fossiler Wirbeltiere und sodann die Myophorienbänke im Röt.

Im unteren Muschelkalke verdient die Terebratelbank durch ihre räumliche Ausdehnung und die gewaltige Masse der in ihr sich findenden Schalen von Terebratula vulgaris besondere Hervorhebung. In derselben Weise tritt zuweilen Lima lineata und Spiriferina fragilis in Mengen auf, und fast durch den ganzen deutschen Muschelkalk hindurch läßt sich an der Basis seiner oberen Abteilung eine außerordentlich harte Kalkbank von wenigen Metern Mächtigkeit unterscheiden, die fast ganz und gar aus den Stielgliedern von Crinoiden besteht und als Trochitenkalk bezeichnet wird.

In der Keuperformation wären von diesem Gesichtspunkte aus die Estherienbänke und der Semionotussandstein, im Räht die Schichten mit der Avicula contorta und das aus einer großen Menge von Fisch- und Saurierresten gebildete sogenannte Bonebed hier anzuführen.

Da in der ganzen Kreide- und Juraformation die Gliederung und damit also auch die Schichtenbegrenzung ganz ausschließlich auf paläontologischen Gesichtspunkten beruht, so werden in diesen Formationen eigentlich nur durch ihre Fossilienführung charakterisierte Glieder ausgeschieden.

Ähnlich liegen die Verhältnisse in denjenigen Gebieten, in denen das marine Tertiär zur Entwicklung gelangt ist. Hier sind es (Mainzer Becken und Hessen) vor allen Dingen Konchylien aus den Gattungen Littorinella, Corbicula, Cerithium und Cyrena, die für die Gliederung und kartographische Darstellung maßgebende Bedeutung erlangt haben.

Im Diluvium beschränkt sich die paläontologische Charakteristik der Schichten auf die bereits durch ihre petrographischen Unterschiede auffälligen interglazialen Bildungen, und im Alluvium wird nur eine besondere Häufung von Meer- und Süßwasserkonchylien in irgend einer Schicht gelegentlich mit zum kartographischen Ausdrucke gelangen müssen.

3. Technische Bedeutung: In den weitaus meisten Formationen finden sich Gesteine, die als Baumaterialien verwendbar sind. Da eine derartige Benutzung im großen und ganzen durch die petrographische

Beschaffenheit des Gesteins bedingt ist, so werden diese Gesteine bereits bei der Eintragung der Schichten von diesem Gesichtspunkte aus zu ihrem Rechte kommen. Es gibt indessen eine Reihe von Fällen, in denen unter sonst petrographisch gleichen Gesteinen sich eine mehr oder weniger mächtige Folge technisch vorteilhaft durch irgend welche Vorzüge, größere Mächtigkeit der Schicht, größere Härte oder große Widerstandsfähigkeit gegen die Atmosphärilien, oder durch günstige Absonderungsverhältnisse unterscheidet, und der Geologe wird auf diesen Punkt sorgsam Rücksicht zu nehmen haben und eventuell für den Steinbruchbetrieb wichtige Gesteine besonders darstellen. Es gehören in diese Rubrik beispielsweise dickbankige Kalke, die von hohem Werte als ornamentale Bausteine werden können, wenn sie im bearbeiteten Zustande durch die Schönheit ihrer Farben oder durch ihre Gleichmäßigkeit des Gefüges und daraus resultierende Politurfähigkeit sich auszeichnen; ebenso treten in vorwiegend aus Sand aufgebauten Gebirgen neben losen, bröckeligen, dünnplattigen Sandsteinen auch Lagen auf, in denen die einzelnen Bänke mächtiger werden und ein hochgeschätztes Baumaterial abzugeben vermögen, wie beispielsweise im mittleren Buntsandstein und in den Sandsteinfazies mancher jüngeren Formationen. Selbst in der geologischen Nomenklatur gelangen solche Beziehungen zum Ausdruck in Namen wie „Bausandstein" und „Werksteinkalk". Anderseits kann der Mangel verkittenden Materials manche Schichten in daran armen Gegenden zu einer Fundgrube für losen Sand zu Bauzwecken machen. Hierher gehört auch die Aussonderung von solchen Gesteinskomplexen, die infolge der transversalen Schieferung ein wertvolles Material für Bau- und andere Zwecke in Form von Schieferplatten liefern, oder bei griffelförmiger Absonderung (sogenannter Griffelschiefer) zu Schieferstiften verarbeitet werden können, Gesteine, die in der Hauptsache auf die paläozoischen Formationen beschränkt sind.

Noch mancher andere Fall technischer Nutzbarkeit bestimmter Schichten ist hier anzuführen: das Auftreten von Kaolinlagern im Bunten Sandstein, Tertiär und in Gebieten, wo Porphyre eine oft tiefgreifende Zersetzung erfahren haben; das Vorkommen von Tonen in allen Stadien der Feuerfestigkeit, von Walkerde, Schotter für Wegebauzwecke, Tone, Mergel und Kalke für Zementfabrikation, Lager von Gips, Phosphaten und Mergeln für landwirtschaftliche Zwecke, zu Mühlsteinen geeignete Porphyre und andere Gesteine und mancherlei anderes. Umgekehrt verdienen auch irgendwie schädlich in einen Betrieb eingreifende Ablagerungen Beachtung, wie die Ortsteinbildungen im Diluvium und Alluvium, die Ablagerungen von dem den Bergbaubetrieb störenden oder hindernden Schwimmsand u. a. m.

Noch viel wichtiger aber ist es, wenn in einer Formation einzelne Glieder auftreten, welche Gegenstand bergbaulicher Ausbeutung sind. In solchen Fällen ist es Pflicht des Geologen, dieselben in ihrer räumlichen Erstreckung

mit größter Sorgfalt festzustellen und die Grenze ihrer Verbreitung in der Karte einzutragen. Es mag ausdrücklich betont werden, daß hier nur von solchen Lagerstätten die Rede ist, welche als gleichartige Glieder dem Schichtenverbande eingelagert sind und in derselben Weise wie die anderen Glieder dieser Formation mit der Erdoberfläche zum Schnitte gelangen. Auf die andersartigen Vorkommnisse nutzbarer Lagerstätten und ihre Darstellung wird an einer anderen Stelle dieses Buches Bezug genommen werden. Wir wollen auch nach diesem Gesichtspunkte die einzelnen Formationen von den ältesten bis zu den jüngsten betrachten, wobei auch hier wieder bemerkt werden mag, daß diese Darstellung in keiner Weise das Thema erschöpfen, sondern nur eine Reihe von Beispielen bringen soll.

In der archäischen Formation finden sich in manchen Gebieten Zonen, in welchen die Gesteine oft in außerordentlicher Längserstreckung und bedeutender Breite mit Schwefelkies, Kupferkies und anderen Sulfiden durchsetzt sind, Zonen, die gewöhnlich unabhängig vom Streichen der Schichten verlaufen und als „Fahlbänder“ bezeichnet werden. Wenn auch bedeutungslos für die Tektonik des Gebietes, sind diese Vorkommnisse doch von hoher technischer Wichtigkeit und in den meisten Fällen Anlaß zu ausgedehntem Betriebe, so daß sie auf einer geologischen Karte durchaus zur Darstellung zu bringen sind.

Während im Kambrium erzreiche Schichtenglieder fast gar nicht auftreten, findet sich im Silur ein derartiger Horizont, und zwar im Thüringer Walde, wo er eine ziemliche Verbreitung besitzt. Es ist das die sogenannte Thuringitzone des unteren Silurs, in welcher das eisenreiche Mineral Thuringit, sowie aus seiner Umwandlung hervorgegangenes Magneteisen und oolithische Roteisenerze eine bedeutende Rolle spielen.

Aus der Devonformation wäre das mächtige Lager von Schwefelmetallen zu nennen, welches im Harze den Goslarer Schiefern eingelagert ist und zu dem uralten Bergbau im Rammelsberge Veranlassung gegeben hat. Aber auch anderwärts finden sich in dieser Formation oolithische, dichte oder kalkige Rot- und Brauneisenerze, beispielsweise im Nassauischen, die dort meist in inniger Beziehung zu den diabasischen Eruptivgesteinen stehen.

Im Karbon sind es vor allen Dingen die Steinkohlenflöze, welche durch ihre eminente praktische Bedeutung eine eingehende Darstellung verdienen, aber neben ihnen finden sich in mehreren Kohlenrevieren auch noch linsenförmige Lager von tonigen Sphärosideriten, die oft so dichtgedrängt in den Schiefern liegen, daß sie einen Abbau lohnend machen, oder womöglich mit den Kohlenflözen selbst in eigentümlicher Weise vergesellschaftet sind und dann den sogenannten Kohleneisenstein bilden, ein Eisenerz, welches in deutschen und außerdeutschen Vorkommnissen eine außerordentlich blühende Eisenhüttenindustrie veranlaßt hat.

Im Rotliegenden sind es wesentlich die in mehreren Verbreitungsgebieten dieser Formation beobachteten Kohlenflöze, die zu bergbaulichem Betriebe Veranlassung gegeben haben und infolgedessen kartographisch hervorzuheben sind.

An der Basis der Zechsteinformation liegt das gewöhnlich nur einige Dezimeter, selten über 1 m mächtige Kupferschieferflöz, welches durch seine außerordentlich gleichmäßige Führung geschwefelter, silberhaltiger Metalle zu ausgedehntem Bergbau Veranlassung gegeben hat und trotz seiner geringen Mächtigkeit in der geologischen Karte unter Umständen mit Übertreibung des Maßstabes auszudrücken ist. Die zweite ebenso wichtige, nutzbare Ablagerung dieser Formation, das Steinsalz, und vor allem die mit ihm vergesellschafteten kalireichen Abraumsalze sind infolge ihrer leichten Löslichkeit ungeeignet, an der Erdoberfläche zum Ausstriche zu gelangen und erheischen deshalb wie die ähnlichen Vorkommnisse anderer Formationen eine besondere Art der Darstellung, auf die weiterhin eingegangen werden wird.

Aus dem Buntsandstein sind hier in erster Reihe jene merkwürdigen Ablagerungen zu nennen, in denen in der Rheinprovinz bei Commern und Mechernich vorwiegend Bleiglanz, aber daneben auch Kupfererze in kleinen bis erbsengroßen Knoten in solcher ungeheuren Menge auftraten, daß diese Sandsteine eine der wichtigsten Bleierzlagerstätten Deutschlands darstellten. Aber auch in anderen Horizonten des Buntsandsteins finden sich derartige Anreicherungen von Erzen, wenn auch nicht in solchem Umfange, wie beispielsweise die Kupfererze im Voltziensandstein des Röt an der Mosel und die Imprägnationen von Kupferglanz und Malachit im Buntsandstein der Provinz Hannover.

Von Erzlagern des Muschelkalkes sind an dieser Stelle die Zink- und Bleierze Oberschlesiens zu nennen, die allerdings nicht mit den betreffenden Schichten gleichzeitig entstanden, sondern in später gebildeten Hohlräumen derselben nachträglich abgelagert sind, aber doch einen weit verbreiteten und technisch außerordentlich wichtigen Horizont in dieser Formation bezeichnen.

Die geringmächtigen, erzführenden Steinmergelbänke des Keupers werden, weil nicht von technischer Bedeutung, noch an anderer Stelle erwähnt werden. In der Liasformation treten mehrere mächtige Flöze oolithischen Eisensteins im nordwestlichen Deutschland auf und ganz ähnliche Oolithe finden sich als Grundlagen wichtigen und ausgedehnten Bergbaues im mittleren Jura von Württemberg, Lothringen und Luxemburg.

Auch der weiße Jura enthält technisch wichtige Bildungen, nur daß dieselben keine Erze darstellen, sondern Imprägnationen mergeliger Kalke mit bituminösen Substanzen; es sind das die sogenannten Asphalt-

kalke, die im nordwestlichen Deutschland in der Umgegend von Hannover und in der Hilsmulde an mehreren Orten zur Fabrikation von Asphalt als Straßenbaumaterial dienen.

Im Neokom liegt ein mächtiges Eisensteinlager in der Gegend von Salzgitter, im Wealden sind in den Wesergebirgen abbauwürdige, eigentümlich zusammengesetzte Kohlenflöze in die Sandsteine dieser Formation eingeschaltet, in den jüngeren Gliedern der Kreide aber fehlen derartige Ablagerungen. Dagegen besitzt die Tertiärformation in den außerordentlich wichtigen und über große Flächenräume verbreiteten Braunkohlenflözen Schichtenglieder von hoher wirtschaftlicher Bedeutung. Auch die „Blaue Erde" des Samlandes wäre hier noch zu nennen, die durch ihren großen Reichtum an Bernstein in den letzten Jahrzehnten zu bergbaulichem Betriebe Veranlassung gegeben hat, nachdem vorher schon durch drei Jahrtausende hindurch, von den Zeiten der Phönizier an, das aus seiner ursprünglichen Lagerstätte durch die Tätigkeit des Meeres ausgewaschene, als Schmuckmaterial so begehrte Baumharz ausgebeutet worden ist. Auch zahlreiche Tonlager (manchmal von großer Feuerfestigkeit) und sehr reine, zur Glasfabrikation geeignete Quarzsande treten an vielen Orten in dieser Formation auf.

Das Diluvium enthält, abgesehen etwa von den geringwertigen Flözen interglazialen Torfes, keine bergbaulich nutzbaren Ablagerungen, während im Alluvium in weiten Gebieten Nordeuropas der Torf als billiges und leicht zu werbendes Feuerungsmaterial von hoher Bedeutung ist. Außerdem finden sich im Diluvium und Alluvium noch Ablagerungen der so vielseitig verwendbaren Diatomeenerde, und von Erzen in der letztgenannten Formation die sogenannten Sumpferze oder Raseneisensteinlager, die in manchen Gebieten, beispielsweise in der Lausitz, Gegenstand der Gewinnung und Verhüttung geworden sind.

Mit dem Gesagten ist aber bei weitem noch nicht erschöpft, was auf einer geologischen Karte zum Ausdruck zu bringen ist. Es kommen vielmehr dazu noch eine ganze Reihe von einzelnen Beobachtungen, die entweder für die Erkennung des geologischen Baus oder für die Entstehung und Umbildung der Gesteine von Bedeutung sind. In erster Reihe sind hier jene Erscheinungen zu nennen, die man im allgemeinen als Kontaktmetamorphose bezeichnet und worunter man die Summe aller Einwirkungen begreift, die glühende Eruptivgesteine auf die von ihnen durchbrochenen oder ihnen benachbarten Sedimentärgesteine ausgeübt haben. Es ist im 15. Kapitel auseinandergesetzt worden, welcher Art diese Umwandlung von Sedimentärgesteinen ist und wie sie mit zunehmender Entfernung von dem beeinflussend wirkenden Eruptivgestein abnimmt. Bei der geologischen Kartierung ist darzustellen einmal der Grad der Intensität der Umwandlung und zweitens die gesamte Ausdehnung, innerhalb deren die

Gesteine die Spuren dieses Einflusses noch zeigen. Da diese Erscheinungen an der unmittelbaren Berührungsstelle am stärksten entwickelt sind und von ihr aus nach den Seiten hin sich allmählich abschwächen, so ist die Grenzenziehung zwischen den einzelnen Phasen der Umwandlung keine scharfe, sondern es muß dem geologischen Taktgefühl überlassen bleiben, auf Grund des allgemeinen Habitus und des Auftretens bestimmter Erscheinungen diese sogenannten Kontakthöfe einigermaßen zu gliedern.

Eine andere Erscheinung ähnlicher Art, die aber nicht auf die Einwirkung glutflüssiger Eruptivgesteine, sondern auf physikalische und chemische Veränderungen infolge gewaltigen, bei der Gebirgsbildung und beim Faltenwurfe ausgeübten Druckes zurückzuführen ist, ist die sogenannte Dynamometamorphose der Gesteine, deren Ergebnisse denen der Kontaktmetamorphose petrographisch ähnlich werden können und wie diese sich durch einen hohen Grad von Kristallinität und durch die Ausscheidung zahlreicher oft sehr augenfälliger Silikatmineralien äußern. Auch diese Erscheinung ist, wenn möglich, in ihrer Verbreitung und Intensität in der Kartendarstellung zum Ausdruck zu bringen.

Eine andere Gruppe von Erscheinungen betrifft das Auftreten gewisser seltener Mineralien in bestimmten Zonen eines Gesteins. Als Beispiel mögen hier die Wieder Schiefer des Harzes genannt sein, die in einer bestimmten Zone des Südharzes von zahlreichen karpholithführenden Quarztrümmern durchsetzt sind; infolge der weiten horizontalen Verbreitung dieser Erscheinung kann man aus ihr Schlüsse auf die Tektonik des Gebirges ziehen. Als weiteres Beispiel können die dünnen Steinmergelbänke im Keuper bezeichnet werden. Eine von ihnen, die sogenannte Lehrbergschicht, ist durch das Auftreten von Kupferkies, Malachit und Kupferlasur, eine andere, ebenfalls sehr verbreitete Bank durch ihre Bleiglanzführung bemerkenswert.

Neben den zu Tage ausstreichenden Ablagerungen, welche Gegenstand des Bergbaues sind, müssen auf einer geologischen Karte auch alle solchen nutzbaren Lagerstätten zum Ausdruck gebracht werden, die unter Tage auftreten, soweit sie durch Bohrungen oder durch bergbauliche Betriebe bekannt sind, und ebenso natürlich auch die Lagerstätten, die sich nicht als gleichartige Glieder in den Schichtenverband einfügen, sondern in Form von Gängen die übrigen Schichten durchsetzen und zu Tage ausstreichen. In welcher Weise alle solche Gänge, Lager, Flöze, Imprägnationszonen u.s.w. in der horizontalen Projektion der Karte zum Ausdruck gelangen, wird in einem späteren Kapitel auseinandergesetzt werden.

Ein weiterer Gegenstand der Kartendarstellung ist das Vorkommen von Versteinerungen. Wenn eine Schicht in ihrer gesamten Oberflächenverbreitung Versteinerungen führt, so wird man dies auf der Karte nicht besonders zur Darstellung bringen; wenn aber Versteinerungen, wie dies in vielen Schichten der Fall ist, auf einzelne für ihre Erhaltung besonders

günstige Stellen beschränkt sind, so ist es in hohem Maße wünschenswert, daß solche Punkte sofort aus der Karte ersichtlich sind, und man bedient sich zu diesem Zwecke bestimmter konventioneller Zeichen, die in der Zusammenstellung am Schlusse dieses Kapitels, soweit sie auf deutschen Karten benutzt werden, kurz dargestellt und erklärt sind.

In neuester Zeit werden bei einzelnen Landesaufnahmen durch besondere Zeichen (Schraffur) auch alle Stellen in den geologischen Karten kenntlich gemacht, an denen das Gestein in einer solchen Weise offen zu Tage liegt, daß man Struktur, Schichtung und Lagerung deutlich beobachten kann.

Außer dem bereits Angeführten sind in Gebieten ehemaliger Vergletscherung noch eine Anzahl von Erscheinungen auf einer sorgfältig ausgeführten geologischen Karte anzugeben. Wo eine Insel älteren festen Gesteins im Gebiete der Glazialbildungen auftritt, ist bisweilen die Oberfläche des Gesteins mit parallel verlaufenden Kritzen versehen, während sie gleichzeitig durch die darüberhin bewegte Grundmoräne abgescheuert, geglättet und gleichsam poliert ist. Derartige sogenannte Gletscherschliffe werden durch ein konventionelles Zeichen (siehe Erklärung geologischer Zeichen) ausgedrückt. Eine andere Erscheinung, die ebenfalls mit der ehemaligen Vergletscherung zusammenhängt, ist das Auftreten sogenannter Riesenkessel oder Gletschertöpfe im anstehenden Gestein, wofür das Symbol an derselben Stelle angegeben ist. Durch eine in der Kartendarstellung gut hervortretende Linie ist die äußere Grenze des Gebietes zu bezeichnen, über welches sich eine ehemalige Vergletscherung erstreckt hat. Wo die Spuren einer solchen sehr stark verwischt sind, wo die Erosion die etwa abgelagerten Grundmoränen wieder vollständig zerstört hat, bleiben als letzte Zeugen die großen Gesteinsblöcke der Grundmoräne liegen, die durch ihren von den Gesteinen der Umgegend völlig abweichenden Charakter sich als Fremdlinge, als erratische Blöcke zu erkennen geben und die letzten Andeutungen für das ehemalige Vorhandensein von Gletschern oder Inlandeis über dem betreffenden Gebiete liefern. Gerade in den Grenzgebieten einer Vergletscherung ist es nötig, diese letzten Spuren auf der Karte in übertriebener Weise anzugeben, wozu man sich liegender oder stehender farbiger Kreuzchen bedient. Aber auch innerhalb solcher Gebiete, in denen die Glazialablagerungen noch wohlerhalten sind, wird man bisweilen es für nötig finden, das Auftreten bestimmter Geschiebe anzugeben, wenn diese durch ihre Anordnung auf die Bewegungsrichtung des Eises in dem betreffenden Gebiete Schlüsse zulassen. So schließt sich an die Aufragungen älterer Gesteine innerhalb glazialer Sedimente oft schweifartig eine Zone von Geschieben des betreffenden durchragenden Gesteins an, die durch ihre Längserstreckung, eventuell in Verbindung mit der Richtung der Glazialschliffe, zu wichtigen Schlußfolgerungen über die Bewegungsrichtung des Eises führen kann. Dasselbe ist der Fall, wenn von weither transportierte Geschiebe in einer

bestimmten Zone eine solche Häufung zeigen, daß man zu dem Schlusse berechtigt ist, es handle sich hier um eine erst in weiter Entfernung von ihrer ursprünglichen Lagerstätte zertrümmerte große Scholle, deren einzelne Bruchstücke in ihrer räumlichen Verbreitung gleichfalls einen Schluß auf den Weg zulassen, den das mit diesen Schollentrümmern belastete Eis zurückgelegt hat. Als Beispiel kann hier auf die enorme Massenhaftigkeit nordischer silurischer Kalksteine bei Sadewitz in Schlesien und auf eine in einer Endmoräne liegende Zone massenhafter grauer Orthocerenkalke auf der Hochfläche des Fläming zwischen Alt-Döbern und Wendisch-Drehna hingewiesen werden.

Zum Schlusse möge noch darauf aufmerksam gemacht werden, daß auch bei der Darstellung alluvialer und diluvialer Flußablagerungen eine Unterscheidung nach der Heimat der in der betreffenden Ablagerung auftretenden Gesteine von großem Nutzen für die Entzifferung ehemaliger Flußläufe sein kann. Es trifft dies besonders zu für die hügeligen Gebiete zwischen den deutschen Mittelgebirgen und dem Verbreitungsgebiete der norddeutschen Glazialablagerungen. Es ist eine für manche dieser Gebiete sicher festgestellte, für viele aber erst gewissermaßen gemutmaßte Erscheinung, daß ebenso wie in Norddeutschland auch hier das Flußnetz während der Diluvialzeit ganz außerordentlich von dem heutigen verschieden war; und eine Darstellung der verschiedenen Schotter nach bestimmten in ihnen auftretenden, nach ihrer Heimat wohlbekannten Gesteinen ist der einzige Weg, auf dem man über diese wissenschaftlich so sehr wichtige Frage zu einer gewissen Klarheit gelangen kann. Die sorgsame Untersuchung und kartographische Darstellung dieser Erscheinung im Diluvium des Königreichs und der Provinz Sachsen hat uns ein klares Bild von dem alten diluvialen Laufe der Elster, Mulde, Pleiße und Saale geliefert und es ist vorauszusetzen, daß in anderen Gebieten ähnliche überraschende Stromverlegungen sich auf diesem Wege werden nachweisen lassen.

Alles, was wir bis jetzt besprochen haben, bezieht sich auf Kartenaufnahmen im Maßstabe 1:25 000 oder darunter. Wendet man einen kleineren Maßstab an, d. h. stellt man dasselbe Gebiet auf einer kleineren Fläche dar, so ergibt sich naturgemäß eine Einschränkung des Dargestellten, die umso beträchtlicher wird, je kleiner die Fläche und je geringer damit die Möglichkeit wird, bestimmte Einzelheiten auf ihr auszudrücken. Dieselben Gesichtspunkte sind maßgebend, wenn es sich darum handelt, aus einer Reihe von Aufnahmen in größerem Maßstabe ein kleineres Kartenbild als Übersicht zusammenzustellen. Diese Einschränkungen aber dürfen nicht willkürlich vorgenommen werden, sondern müssen nach ganz bestimmten Gesichtspunkten erfolgen, wobei die umgekehrte Reihenfolge maßgebend ist, die wir oben für das auf Karten Darzustellende festgelegt haben. Die Grenzen zwischen Eruptivgesteinen und geschichteten Gesteinen sind so

weit wie möglich festzuhalten, und selbst kleinere Durchbrüche von ersteren eventuell mit Übertreibung ihrer Dimensionen auch bei kleineren Maßstäben noch zum Ausdrucke zu bringen, wenn sie entweder ein isoliertes Vorkommen betreffen, oder die letzten Ausläufer einer weit ausgedehnten Eruptivzone bilden (Basalt der kleinen Schneegrube im Riesengebirge). Dagegen wird man da, wo Eruptivgesteinsgänge oder Decken in großer Zahl beieinander auftreten, nur die wichtigsten noch darstellen oder, wenn sie gleichwertig sind, schematisch den einen oder anderen in der Karte wiedergeben. Ebenso bleiben selbstverständlich die großen Grenzlinien zwischen den einzelnen Formationen bei jeder Verkleinerung des Maßstabes bestehen, während für das innerhalb der einzelnen Formationen zu Gebende sich verschiedene Einschränkungen notwendig machen. Zunächst wird man bei der Verkleinerung des Maßstabes darauf verzichten müssen, die technisch nutzbaren Ablagerungen noch in dem Umfange darzustellen, wie etwa für Meßtischblätter. Wo Erzgänge oder linsenförmige Einlagerungen in dichter Häufung sich finden, wird man beim Zurückgehen auf den Maßstab 1 : 100 000 nur noch die wichtigsten dieser Bildungen ausdrücken können und bei noch kleinerem Maßstabe, etwa 1 : 500 000, nur noch schematisch durch eine einzelne Strichlage die Richtung eines solchen Ganggebietes oder einer Reihe von gesetzmäßig dem Schichtenverbande eingefügten Lagerstätten ausdrücken. Bei noch kleinerem Maßstabe werden diese Bildungen überhaupt nicht mehr auf der Karte zum Ausdruck zu bringen sein.

In zweiter Linie wird man zu bedenken haben, welche petrographisch verschiedenen Schichten noch darzustellen, welche fortzulassen sind. Wo in einem Eruptivgebiete der Maßstab der Meßtischblätter gestattet, die einzelnen zeitlich und in ihrer Zusammensetzung nur wenig voneinander abweichenden, zu einer großen Gesteinsgruppe gehörenden Ergüsse zu unterscheiden, wird man bei Anwendung kleineren Maßstabes zusammenfassen müssen. Wenn beispielsweise in einem tertiären Eruptivgebiete Feldspat-, Nephelin- und Leuzitbasalte zusammen vorkommen, so wird man in dem einen Falle die verschiedenen Basaltgesteine unterscheiden, im anderen Falle aber alle unter der Bezeichnung „Basalt“ vereinigen. Dasselbe wird man nötig haben, wenn es sich um diabasische oder porphyrische Eruptivgesteine in alten Formationen handelt. Man wird hier nicht mehr die einzelnen Gesteinsgruppen unterscheiden können, sondern muß sie alle unter derselben Farbe zusammengreifen. Wenn von einem Granitmassive sich seitlich Gänge abzweigen, die durch ihre andere Art des Auftretens andere Erstarrungsmodifikationen angenommen haben, wie das Hauptgestein, so wird man sie mit jenem zusammenfassen müssen. Ebenso wird es sich nötig machen, die Kontakterscheinungen an der Grenze von Eruptivgebieten in der Darstellung einzuschränken. Es wird nicht mehr möglich

sein, schmale Kontaktzonen darzustellen, wohl aber werden die großen kilometerbreiten Höfe um die Granitstöcke herum, auch bei bedeutender Verkleinerung des Maßstabes, sich noch in schematischer Weise zum Ausdrucke bringen lassen, wenn es auch nicht mehr möglich sein wird, die einzelnen Phasen dieser Umwandlung darzustellen. — Innerhalb der geschichteten Gesteine wird man die im vorhergehenden besprochenen petrographisch abweichenden Einlagerungen, wenn sie gute Leithorizonte für die Verfolgung der Schichten bilden, im vollen Umfange ausdrücken, man wird geringer mächtige Bänke weglassen und nur über größere Flächenräume verbreitete, mächtige Einlagerungen, wie beispielsweise große Kalkstöcke in den kristallinischen Schiefern, noch geben können. Auch der Grad der Gliederung der einzelnen Formationen wird eine Reihe von Einschränkungen erforderlich machen; während beispielsweise in der Triasformation auf einem Meßtischblatte nicht nur die drei Hauptglieder, sondern auch ihre Unterabteilungen in untere, mittlere und obere Stufe, sowie fernerhin eine Anzahl von einzelnen besonderen Schichten dargestellt werden können, wird eine Karte im Maßstabe 1:100 000 die letzteren bereits vernachlässigen und eine solche in 1:500 000 nur noch die drei Hauptglieder: Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper unterscheiden können, und bei Übersichtskarten über sehr große Gebiete in sehr kleinem Maßstabe wird man unter Umständen die ganze Triasformation einheitlich darstellen. Entsprechende Reduktionen, deren Einzelheiten auch hier dem geologischen Taktgefühl überlassen bleiben müssen, finden in analoger Weise natürlich in allen anderen Formationen statt.

Auf der anderen Seite aber wird es nötig sein, eine Anzahl von Erscheinungen, die trotz geringer Oberflächenverbreitung von geologischer Bedeutung sind, auch bei kleinerem Maßstabe unter allen Umständen zur Darstellung zu bringen, und zu Gunsten dieses Zweckes wird man oft genug ganz bedeutende Übertreibungen vornehmen müssen, damit sie in der Karte in deutlich erkennbarer Weise zum Ausdruck gelangen. Dahin gehört beispielsweise das Auftreten von isolierten kleinen Schollen irgend einer Formation, die durch ihre Lage weit entfernt von dem Hauptverbreitungsgebiete derselben Schichtfolge einen Anhalt gewähren für die Beurteilung der Frage nach deren ehemaliger Verbreitung in dem betreffenden Gebiete. Als Beispiele ließen sich hier etwa die kleine Muschelkalkscholle bei Greiz oder die kleinen Kreideschollen auf dem Ohmgebirge, oder die kleinen Partien von Juraformation am Nordrande des Thüringer Waldes und an der Lausitzer Spalte anführen. Auch „Reste" (vereinzelte Geschiebe) eines Schotterlagers der Diluvial- oder Tertiärzeit sind, wenn besonders wichtig, auf der Übersichtskarte als volle Flächen anzugeben.

Ebenso wird man isolierte und darum besonders auffällige Vorkomm-

nisse von Eruptivgesteinen auch bei Verkleinerung des Maßstabes soweit wie möglich noch zu deutlichem Ausdrucke zu bringen versuchen. — Wenn ferner in einem weit ausgedehnten Gebiete jugendlicher Bildungen, wie z. B. im nordeuropäischen Glazialgebiete, an sehr zerstreuten Stellen winzige Partien des älteren Untergrundes die jungen Bildungen durchragen, so wird man auch diese, selbst in einem Maßstabe von weniger als 1: 100 000, noch zum Ausdrucke bringen, mag auch ihre Ausdehnung an der Oberfläche so gering sein, daß sie selbst auf den Meßtischblättern nur als winzige Flächen erscheinen. Wenn es sich anderseits darum handelt, die Verbreitung von Glazialbildungen auf einer Übersichtskarte zur Darstellung zu bringen, so wird man in einem Gebiete, wo vorwiegend ältere Schichten auftreten und nur ganz dünne, kleine Decken glazialer Schichten der Erosion entgangen sind, diese unter Übertreibung ihrer örtlichen Verbreitung um des allgemein geologischen Interesses willen in einer Kartendarstellung nicht unterdrücken dürfen, ja man wird sogar die äußersten Spuren solcher Ablagerungen in Gestalt vereinzelter, von weither transportierter Gesteinsblöcke auch bei kleinerem Maßstabe als vollgültige Äquivalente für anderwärts viele Meter mächtige Schichten betrachten und als solche darstellen müssen. Eine vortreffliche Methode, diese jungen Schichten, die in dünner Decke das ältere Gebirge überlagern, neben dem letzteren zur Darstellung zu bringen, ist in größerem Maßstabe (1 : 100 000) auf der Beyschlagschen Karte der Umgegend von Halle, im kleineren (1 : 1 500 000) in bestimmten Teilen der großen geologischen Karte von Europa (Schweden, Rußland) zur Anwendung gebracht worden. Sie besteht darin, daß in den eine dünne Tertiär- und Quartärbedeckung tragenden Gebieten die älteren Schichten da, wo sie zu Tage treten, mit Vollfarbe, da wo sie von jenen überdeckt sind, durch eine in der Farbe mit jener übereinstimmende, verschieden gerichtete Schraffur zum Ausdrucke gebracht werden. In solcher Weise sind auf der geologischen Karte von Europa der skandinavische Norden und der größte Teil von Rußland dargestellt worden. In der Karte der Umgegend von Halle a. S. ist sogar in derselben Weise durch Überdruck leichter Farbentöne zum Ausdruck gebracht worden, ob über dem älteren Gebirge Tertiärformation, Diluvium oder Alluvium liegt. Diese Art der Darstellung scheint für viele Gebiete für die Zukunft noch von großer Bedeutung werden zu wollen.

Auch die Grenzenziehung erheischt bei Anwendung kleineren Maßstabes bestimmte Abänderungen. Man wird nicht mehr jede Einbiegung der Grenzlinien in kleine Seitentäler ausdrücken, sondern den Verlauf der Grenzen vereinfachen und mehr in gerade fortlaufenden Linien geben. Anderseits wird man kleine, benachbarte, in Wirklichkeit isolierte gleichartige Vorkommnisse zu einer zusammenhängenden Fläche zusammenfassen,

vorausgesetzt, daß nicht etwa Verwerfungen oder andere Lagerungsstörungen die Trennung bewirkt haben; in solchem Falle würde ein Zusammenfassen natürlich ein ganz falsches Bild geben und ein grober Fehler sein.

Erklärung der auf geologischen Karten benutzten gebräuchlicheren Zeichen.



Horizontal lagernde Schichten

Senkrecht, Steil, Mäßig steil, Flach } einfallende Schichten

Sattel (Antiklinale)

Mulde (Synklinale)

Kuppelförmiger Bau

Flach, Steil, Senkrecht } einfallende Schieferung

Steile Neigung, Schwache Neigung, Horizontalstellung } von Streckrichtungen

Gefaltete Schichten

Stark gefältelte Schichten

Tiefbohrung

Flachbohrung (Brunnen)

Schacht

Stollenmundloch. Der Stollen verläuft rechtwinklig zu der durch den Grundstrich angegebenen Himmelsrichtung

Im Betriebe befindliche, Auflässige } Gruben

	Gelegentliche Aufschlüsse (Gräben, Baugruben u. s. w.)
	Gruben, Erdfälle, Pingen
	Verwerfungen: a) beobachtet, b) vermutet
	Klüfte (Diaklasen)
	Riesenkessel
	Richtung glazialer Schrammen
×	Geschiebe (erratische Blöcke)
✱	Geschiebe (erratische Blöcke)
+	Geschiebe (erratische Blöcke)
O	Quelle
O NaCl	Salzquelle
	Vorkommen von Säugetierresten
	Vorkommen von Fischresten
	Vorkommen von Süßwasserschalresten
	Vorkommen von marinen Versteinerungen
	Vorkommen von Pflanzenversteinerungen
☉ oder Au	Gold- Lagerstätte
☽ „ Ag	Silber- Lagerstätte
♄ „ Pb	Blei- Lagerstätte
♀ „ Cu	Kupfer- Lagerstätte
♂ „ Fe	Eisen- Lagerstätte
♃ „ Sn	Zinn- Lagerstätte
☿ „ Hg	Quecksilber- Lagerstätte

Verzeichnis von für geologische Kartenaufnahmen verwendeten Abkürzungen für Sedimentär- und Eruptivgesteine.

Alluvium a.

am	Abgestürzter Muschelkalk	aK	Kalktuff
as	Schuttkegel	akh	Moormergel
ag	Flußkies, Strandkies	ah	Moorerde
as	Seesand, Strandsand, Fluß- und Bachsand	at	Torf
		ai	Diatomeenerde
ath	Wiesenton und Wiesentonmergel	ao	Ortstein
al	Wiesenlehm	ar	Raseneisenstein
asl	Flußlehm (Schlick)	D	Flugsand
ak	Wiesenkalk, Seekreide	α	Abrutsch- und Abschlämmmassen.

Diluvium d.

Jüngeres Diluvium ∂

∂m	Geschiebemergel
∂th	Ton (Deckton)
∂s	Sand
∂g	Kies
∂G	Endmoräne
∂L	Löß

Taldiluvium ∂a

∂as	Talsand
∂ag	Talkies
∂ath	Talton
∂at	Torf im Talsande

Älteres Diluvium d

dm	Geschiebemergel
dth	Ton
dms	Mergelsand und Schluffsand
ds	Sand
dg	Kies
dk	Kalk
di	Diatomeenerde
dt	Torf

Tertiär b.

be	Eocän
bo	Oligocän
bm	Miocän
bp	Pliocän
bou	Unteroligocän
bom	Mitteloligocän
boo	Oberoligocän

σ	Sand	der verschiedenen Stufen
γ	Kies	
ϑ	Ton	
κ	Kohle	
χ	Quarzit	
k	Kalkstein	

Kreideformation k.

kn	Neocom
kg	Gault
kc	Cenoman
kt	Turon
ks	Senon

Oberer oder weißer Jura jw.

jw_1	Kelloway und Oxford
jw_2	Coralrag
jw_3	Kimmeridge
jw_4	Portland

In Württemberg Jα—ζ

Mittlerer oder brauner Jura jb.

jbu	Unterer Dogger
jbm	Mittlerer Dogger
jbo	Oberer Dogger

In Württemberg Oα—ζ

Lias jl.

jlu	Unterer Lias
σ	Sandsteineinlagerungen in demselben
α	Kalksandstein
jlm	Mittlerer Lias
jlo	Oberer Lias

In Württemberg Lα—ζ

Keuper k.

ko	Oberer Keuper (Rhät)
km	Mittlerer Keuper
γ	Corbulabank
δ	Estherienschichten
ε	Lehrbergschicht
y	Gipsmergel und Gips
Pb	Bleiglanzbank
ku	Unterer Keuper
ku_2	Grenzdolomit

Muschelkalk m.

mo	Oberer Muschelkalk	mu	Unterer Muschelkalk (Wellenkalk)
mo_1	Trochitenkalk	τ	Terebratulabank
mo_2	Nodosenschichten	χ	Schaumkalk
mm	Mittlerer Muschelkalk	oo	Oolithbänke
y	Gips		

Buntsandstein s.

so	Oberer Buntsandstein (Röt)	χ	Sandstein mit Chirotherienfährten
y	Gyps	su	Unterer Buntsandstein
m	Kalke mit Modiola hirudiniformis	α	Konglomerat
δ	Dolomite mit Myophoria fallax	ρ	Rogenstein
sm	Mittlerer Buntsandstein	δ	Dolomit

Zechstein z.

zo	Oberer Zechstein	zu	Unterer Zechstein
y	Gips	zu_1	Zechsteinkonglomerat und Kupferschiefer
zm	Mittlerer Zechstein		
φ	Eisensteinlager	zr	Dolomit des Bryozoenriffes

Rotliegendes r.

ro	Oberes Rotliegendes	ru	Unteres Rotliegendes
κ	Kalkeinlagerungen	k	Kalkeinlagerungen
δ	Dolomit	π	Kieselschiefer und kieseliger Ton
rm	Mittleres Rotliegendes	α	Grobe Konglomerate

Steinkohlenformation st.

sto	Oberes Karbon	stu	Unteres Karbon
k	Kalklager	k	Dolomit und Kalkstein

Kulm c.

c_2	Oberer Kulm	ρ	Bunte Tonschiefer, Sandsteine und Grauwacken
c_1	Unterer Kulm		
α	Kalkgrauwacke		

Devon t.

t_3 oder to	Oberdevon	k	Stringocephalenkalk
α	Kalkknotenschiefer	s	Schalstein
α_1	Knotenkalk	t_1 oder tu	Unterdevon
k	Kalklager	α	Kalkknotenschiefer
β	Quarziteinlagerungen	β	Nereitenquarzit oder sandige und quarzitische Schiefer
γ	Diabasbreccien und Tuffe		
s	Schalstein	w	Hunsrückschiefer
c	Cypridinenschiefer	g	Grauwacke
t_2 oder tm	Mitteldevon	q	Quarzit
β	Kalkgrauwacken, Tuffe, Diabasbreccien	t	Tonschiefer
		χ	Koblenz-Quarzit
t	Tentaculitenschiefer	k	Kalkeinlagerungen
o	Orthocerasschiefer	p	Porphyroidschiefer

Silurs s.

s_3	Obersilur
α	Knotenkalk
β	Alaunschiefer
s_2	Mittelsilur
s_1	Untersilur
π	Quarzit
o	Thuringitische Gesteine
l	Kieselschiefer
α	Griffelschiefer
β	Dunkler Tonschiefer

Kambrium cb.

cb_2	Oberes Kambrium
cb_1	Unteres Kambrium
υ	Violette Ton- und Dachschiefer
γ	Grauwacke oder gneis- und granitartige Gesteine
q	Quarzit
π	Porphyroid
α	Amphibolgesteine
γ_1	Graphitische Schiefer

Kristallinisches Grundgebirge.

gl	Glimmerschiefer
gn	Gneis
gnh	Hornblendegneis
gnb	Biotitgneis
gnk	Körnig flaseriger Gneis
gng	Glimmerreicher, schieferiger Gneis
q	Quarzit

Eruptivgesteine.

Basalt B

Bn	Nephelinbasalt
Bl	Limburgit
Bf	Feldspatbasalt
Bfl	Lavaartiger Feldspatbasalt
Bf'	Basaltlava
B oder Bl	Basanit
Bt	Tephrit
Bα	Basaltische Schlacken und Aschen
tB	Basalttuff

Phonolith F oder Ph

Andesit A.

Aa	Augitandesit
Ah	Hornblendeandesit

Kersantik K

Trachyt T

tT	Trachyttuff
βT	Bimststeinsand

Melaphyr M

Mυ	Glasreicher Melaphyr
Mς	Melaphyrmandelstein
tM	Melaphyrtuff

Porphyrit 𝔓

𝔓g	Glimmerporphyrit
𝔓ς	Porphyritmandelstein
t𝔓	Porphyrittuff

Quarzporphyr P

P_0	Biotitreicher Quarzporphyr
Pf	Felsit-Porphyr
Pρ	Fluidaler Quarzporphyr

Diabas D

Dp	Paläopikrit
Dπ	Porphyrartiger Diabas
Dα	Aphanit
D'	Diabasmandelstein
tD	Schalstein

Granit G

Gr	Granitit
Grp	Granitporphyr

Kapitel 17.

Eintragung der Aufschlußergebnisse in die Karte. Aufsuchung geologischer Grenzpunkte. 1. Beobachtung der Verwitterung. 2. Beobachtung der Bodenfärbung.

Wenn nach all den in den vorherigen Kapiteln aufgeführten Rücksichten ein Aufschluß untersucht ist, so wird das gefundene Resultat an der entsprechenden Stelle der Karte eingetragen. Ein mit einem Buntstift ausgeführter Punkt oder Strich, eine farbige Linie oder ein Farbenband je nach Größe oder Gestalt des Aufschlusses bezeichnet bei Sedimentärgesteinen das Alter der betreffenden Schichten, oder wenn dieses sich nicht von vornherein mit voller Sicherheit bestimmen läßt, ihr petrographisches Verhalten; bei Eruptivgesteinen die Zugehörigkeit zu einer der größeren Gruppen. Ein kurzer Strich gibt die Richtung des Streichens, ein ihm aufgesetzter Pfeil das Einfallen der betreffenden Schichten an, in der Weise, wie es oben bereits angegeben wurde. Ist der Aufschluß reich an tierischen oder pflanzlichen organischen Resten, so gibt man auch das direkt in der Karte durch ein beigesetztes Zeichen (siehe voriges Kapitel) an. Nicht in die Karte, sondern in das Notizbuch wird, wenn es erforderlich ist, eine kleine Skizze des Aufschlusses eingetragen, wobei die einzelnen Schichten durch Buchstaben bezeichnet werden, und gleichzeitig werden alle Punkte notiert, die von Wichtigkeit sind und zur Charakterisierung der einzelnen Schichten dienen, wie das petrographische Verhalten, die Wasserführung, die Art der vorkommenden Versteinerungen und alle anderen Dinge, die in den vorhergehenden Kapiteln besprochen sind.

Professor J. F. Kemp in New York rät[1]), für diese Tagebuchnotizen eine Art doppelter Buchführung in Anwendung zu bringen: man teile das Kartenblatt in ein System immer kleiner werdender Felder ein, deren Größen durch die Lage der Gradminuten bestimmt werden. Die deutschen Meßtischblätter sind beispielsweise 10 Minuten breit und 6 Minuten hoch. Zieht man diese Minutenlinien aus, so erhält man ein Netz von 60 Rechtecken, die man dann durch Eintragung der Sekundenlinien abermals in je 60 Felder zerlegen kann. Jedes der Minutenfelder umfaßt 2,11 Quadratkilometer, jedes der Sekundenfelder rund 3,5 Hektar. Numeriert man die Minutenfelder oben links beginnend und unten rechts endigend von 1—60 und die Sekundenfelder jedes einzelnen Minutenfeldes ebenfalls von 1—60, so kann man durch zwei Zahlen, z. B. 49, 15, jeden beliebigen Punkt der

[1]) Geol. Soc. of America. Bull. 16, S. 411—418.

Karte bezeichnen in seiner Lage auf einer 3,5 Hektar großen Fläche. Auf diese Flächen sollen die Bucheintragungen bezogen werden und die fortlaufenden Notizen sollen übersichtlich gemacht und in gegenseitige Beziehung gebracht werden dadurch, daß eine fortlaufende Liste geführt wird, in welcher hinter jeder Minutenfeldnummer angegeben wird, auf welchen Seiten des Notizbuches sich Bemerkungen finden, die auf das betreffende Feld sich beziehen.

Es ist übrigens nicht nötig, das ganze Liniennetz in die Karte einzutragen, es genügen vielmehr die Minutenlinien und ein auf Celluloid eingeritztes Netz der Sekundenlinien, welches durchsichtig ist und auf jedes Minutenfeld aufgelegt werden kann. Die Minuteneinteilung ist am Rande der Meßtischblätter durch kurze Striche angedeutet.

Bei anderen Kartenmaßstäben werden natürlich andere Einteilungsgrundsätze nötig.

Ist die Untersuchung in sorgfältiger Weise erledigt[1]) und über die gesamten Aufschlüsse eines größeren und kleineren Gebietes ausgedehnt, so wird der Geologe in sehr vielen Fällen bereits einen oberflächlichen Überblick über die Lagerungsverhältnisse und den Aufbau des betreffenden Gebietes gewonnen haben. Seine nächste und wichtigste Aufgabe besteht nun darin, die räumliche Verbreitung der einzelnen Glieder an der Oberfläche genau festzustellen und die Grenzen der einzelnen zu unterscheidenden Formationsglieder in der Natur zu suchen und weiter zu verfolgen.

Die Aufsuchung der geologischen Grenzen erfordert eine sorgsame Begehung des aufzunehmenden Gebietes. Diese Begehung folgt solchen Linien, die in der topographischen Unterlage klar zum Ausdrucke gelangen, damit man in jedem einzelnen Falle genau weiß, wo man sich im Gelände befindet. In erster Reihe kommen hier die das Gelände durchfurchenden Täler der Flüsse und Bäche bis in ihre kleinsten Verzweigungen hinein in Betracht, sodann Fuß- und Fahrwege, Waldränder, Grenzen zwischen Feldern, Flurgrenzen und anderes. Ist man gezwungen eine Linie zu begehen, die in der Karte nicht direkt zum Ausdrucke kommt, so legt man sie möglichst so, daß man von einem Fixpunkte, einem Wegkreuze, einer Waldecke oder einem

---

[1]) Es mag an dieser Stelle ein sehr beachtenswerter Wink eingeschaltet werden, den v. Richthofen in seinem „Führer für Forschungsreisende" gibt: „Je leichter man den Bleistift zur Hand hat, um so häufiger wird man sich veranlaßt fühlen, das Notizbuch zu benützen, um in demselben zur Entlastung des Gedächtnisses kurze Eintragungen zu machen, und es empfiehlt sich deshalb, den Bleistift an einer längeren um den Hals hängenden oder in ein Knopfloch eingeknöpften Schnur oder in einem angesteckten oder ganz leicht erreichbar in der Brusttasche untergebrachten offenen Etui zu tragen, so daß er jederzeit bequem in die Hand genommen werden kann. Eine kleine Versäumnis im Aufzeichnen zunächst unscheinbar erscheinender Bemerkungen wird sich in vielen Fällen später empfindlich rächen und bitter empfunden werden."

abgeschrittenen Punkte aus sich in gerader Richtung auf einen anderen, in der Karte deutlich erkennbaren, in der Natur sichtbaren ähnlichen Festpunkt zu bewegt. Wie nahe oder wie weit die einzelnen Beobachtungslinien voneinander entfernt sein müssen, hängt natürlich von verschiedenen Umständen ab. In geologisch einförmigen Gebieten werden die Beobachtungslinien in größeren Abständen voneinander liegen können, während sie in verwickelt gebauten so nahe wie möglich aneinandergerückt werden, wobei die Wahl der betreffenden Linien jedenfalls von der Schwierigkeit des Terrains und von dem Maße von Erkenntnis abhängig ist, bis zu welchem man in der Beurteilung des geologischen Baues bereits vorgedrungen ist. In Gebieten, die mit dichtem, ausgedehntem Wald bestanden sind, werden in sehr vielen Fällen die einander parallel verlaufenden Forstwege, die zur Einteilung des Reviers in „Jagen" oder „Abteilungen" dienen, als „Schneisen" oder „Gestelle" bezeichnet werden und gewöhnlich in zwei aufeinander senkrecht stehenden Richtungen in gleichen Abständen verlaufen, die besten und oftmals einzigen Beobachtungslinien bilden. In jedem Falle tut man gut, die ersten und meisten Linien so zu wählen, daß sie senkrecht zum Streichen der Schichten liegen; in anderen Fällen aber, wo eine bestimmte Schicht klar und deutlich im Terrain hervortritt und wo man sie bereits mit dem Auge auf weite Strecken hin erkennen kann, wird es angebracht sein, zunächst auf größere oder kleinere Entfernung ihr zu folgen und die Linie ihres Ausstriches in der Karte einzutragen. Bei horizontal verlaufenden Schichten ist es in vielen Fällen angebracht, nicht die Täler, wenigstens wenn sie eine geringe Neigung haben, zu verfolgen, da man dabei häufig auf große Strecken in derselben Schicht bleibt, sondern die Beobachtungslinien rechtwinklig zum Verlaufe der Täler, die Abhänge hinauf zu legen. Nach einiger Übung wird der Geologe nicht mehr im Zweifel sein, welche von diesen verschiedenen hier mitgeteilten Methoden er im gegebenen Falle zur Anwendung zu bringen hat.

Für die Aufsuchung geologischer Grenzen kommen folgende Erscheinungen in Betracht:

1. Die genaue Untersuchung des Verwitterungsbodens.
2. Die Bodenfärbung.
3. Eingehende Beobachtung der Terrainverhältnisse.
4. Vegetation und Fruchtbarkeit des Bodens.
5. Die Beobachtung von Wasseraustrittsstellen.
6. Die Untersuchung der von Flüssen und Bächen transportierten Gerölle.

1. Untersuchung des Verwitterungsbodens: Im 5. Kapitel ist bereits in ausführlicher Weise besprochen, in welcher Art die einzelnen Gesteine verwittern, welcherlei Boden sie bilden und von

welcher Beschaffenheit die einzelnen im Boden enthaltenen Bruchstücke und Residualbildungen sind, die einen Schluß auf das unterlagernde Gestein zulassen. Es erübrigen an dieser Stelle nur noch einige kurze Bemerkungen, die sich auf die Kartendarstellung beziehen. Hat man in einem Aufschlusse erkannt, welche Schichten an der betreffenden Stelle zu Tage ausstreichen, so bewegt man sich von dem Aufschlusse aus möglichst im Streichen der Schichten seitwärts und beobachtet dabei mit Aufmerksamkeit den Ackerboden, am besten an den Rändern von Feldern oder an Furchen, die den betreffenden Acker durchziehen, und sucht sich an möglichst zahlreichen Stellen durch Prüfung der im Boden eingeschlossenen Gesteinsfragmente Sicherheit darüber zu verschaffen, ob man sich noch im Verwitterungsboden derselben Schicht befindet. Das Ergebnis trägt man in möglichst kurzen Zwischenräumen auf der Beobachtungslinie auf der Karte durch ein kurzes Zeichen ein, indem man sich dazu entweder schon des konventionellen bezw. offiziellen Zeichens für die betreffende Schicht bedient, oder zunächst für seinen eigenen Handgebrauch eine besonders bezeichnende Buchstabenabkürzung oder sonstige Signatur erfindet und durchführt, die auf petrographische oder paläontologische Beschaffenheit, einen Lokalnamen oder dergl. Bezug nimmt.

In der gedruckten oder zu druckenden geologischen Karte werden die Schichten jeder einzelnen Formation mit einem bestimmten Buchstaben zusammengefaßt, und es hat sich bereits eine internationale Gepflogenheit in dem Sinne herausgebildet, daß die gleiche Formation in den Karten der verschiedenen Länder tunlichst mit einem und demselben Buchstaben bezeichnet wird, eine Übereinstimmung, für welche die im Erscheinen begriffene internationale Karte von Europa eine gute Grundlage bildet. In diesem Kartenwerke sind die archäischen Schichten mit dem Buchstaben *a* bezeichnet, das Kambrium mit *cb*, das Silur mit *s*, das Devon mit *d*, das Karbon mit *h* (houiller), die Permformation mit *p*, die Trias mit *t*, der Jura mit *i*, die Kreide mit *c*, das Tertiär mit *m* (Molasse), das Quartär mit *q*, und die jüngsten Bildungen mit *α*. — Die geologische Karte von Preußen und den Thüringischen Staaten zeigt infolge von weitgehender Gliederung eine Anzahl von Abweichungen von diesem Schema. So wird darin das archäische Gebiet, wenn auch nicht ganz einheitlich, mit *g*, das Kambrium mit *cb*, das Silur mit *s*, das Devon in Thüringen mit *t*, das Karbon mit *st* und *c*, die Zechsteinformation mit *z*, der Buntsandstein mit *s*, der Muschelkalk mit *m*, der Keuper mit *k*, Jura und Kreide wie in der europäischen Karte, das Tertiär mit *b* (Braunkohlenformation), das Diluvium in seiner oberen Abteilung mit *∂*, in seiner unteren mit *d* und das Alluvium mit *a* bezeichnet. Die unteren, mittleren und oberen Abteilungen der einzelnen Formationen werden in demselben großen Kartenwerke mit einem an diesen Hauptbuchstaben angefügten *u*, *m* oder *o* bezeichnet und die innerhalb dieser einzelnen

Abteilungen in der Karte noch weiter unterschiedenen Glieder durch an den zweiten Buchstaben angesetzte Zahlen bezeichnet, wobei die untersten Schichten mit einer $_1$ und jede folgende mit einer höheren Zahl bezeichnet werden. Bei noch weiterer Gliederung sowie bei linsenförmigen Einlagerungen wendet man einzelne Buchstaben an, wie beispielsweise für die Gipseinlagerungen ein *y*, für die Kalkeinlagerungen ein *x* u. s. w. In derselben Weise werden die Eruptivgesteine in ihren großen Gruppen durch einen Hauptbuchstaben zusammengefaßt, und die verschiedenen petrographischen oder Altersdifferenzen innerhalb dieser Gruppen durch dem Hauptbuchstaben angesetzte Nebenbuchstaben oder Zahlen bezeichnet.

Einige Beispiele mögen das Gesagte erläutern. Wir nehmen den Fall an, daß wir uns in einem Buntsandsteingebiete befänden, und zwar in dessen mittlerer Abteilung. Solange der Verwitterungsboden uns den Schluß gestattet, daß wir uns noch innerhalb dieser Abteilung befinden, setzen wir in kurzen Intervallen in unsere Beobachtungslinie auf der Karte das Zeichen s_m = Mittlerer Buntsandstein ein und bemerken durch nebengesetzte kleine Buchstaben *fk*, *mk* oder *gk*, welches die Korngröße der einzelnen Sandkörner an der betreffenden Stelle ist, wobei *fk* feinkörnigen, *mk* mittelkörnigen Sand und *gk* grobkörnige bis konglomeratische Bildungen bezeichnet, deuten auch noch durch ein ρ rote Farbe, durch ein λ lettige Zwischenlagen an. Mit diesen Eintragungen fahren wir so lange fort, bis uns ein Wechsel im Boden, mag derselbe nun in der petrographischen Beschaffenheit des Gesteins oder in der Färbung oder im Bindemittel oder im Auftreten ganz neuer Gesteine begründet sein, angezeigt, daß wir einen anderen Schichtenkomplex erreicht haben. Die Stelle, wo zuerst mit Sicherheit ein solcher Wechsel beobachtet wird, wird in der Karte durch einen kurzen Strich klar und deutlich markiert[1]). Ein anderer Fall: Wir haben aus Aufschlüssen erkannt, daß wir uns im unteren Muschelkalke, im sogenannten Wellenkalke, befinden und verfolgen nun den mit zahllosen Kalksteinstücken durchsetzten Boden, indem wir das Zeichen m_u oder *w* (Wellenkalk) so lange in kurzen Abständen in unsere Beobachtungslinie eintragen, bis wir einen Wechsel in den Gesteinen der Oberfläche wahrnehmen, etwa in der Weise, daß sich Bänke von kristallinischem, nicht welligem Kalke einstellen, in welchen man bei eifrigem Suchen die charakteristische Terebratula vulgaris entdeckt. Der Punkt, wo diese beginnen, wird durch einen kurzen Strich festgelegt und an Stelle des Zeichens m_u tritt das für die betreffende Einlagerung gewählte griechische Zeichen τ in sein Recht. Oft nach wenigen Schritten schon werden wir wahrnehmen, daß diese Einlagerung wieder verschwindet und die alte Folge von welligen, erdigen Kalk-

[1]) Eventuell muß man mehrmals über die Grenzzone hin und her gehen und dieselbe auf einen immer schmäleren Streifen, zuletzt auf eine Linie, einzuschränken suchen.

steinen sich wieder einstellt, die wir nun weiterhin wieder mit m_u bezeichnen, bis eine zweite terebratelfreie Schaumkalkbank einsetzt, für die wir dann an der betreffenden Stelle das Zeichen χ eintragen und deren obere und untere Grenze wir ebenfalls mit kurzen Linien in der Karte durch Abschreiten festlegen. Beim weiteren Verfolgen unseres Profils werden wir wahrnehmen, daß beim Übergange auf eine sanfter geböschte Ebene die groben, eigentümlich gestalteten Kalksteinstücke des Wellenkalkes im Boden verschwinden, und tiefgründige, steinfreie, feindolomitisch-sandige, lößähnlich-gelbliche Ackerböden auftreten. Wir erkennen, daß wir wieder eine wichtige Schichtgrenze überschritten haben und uns nunmehr im mittleren Muschelkalke befinden, für den wir das Zeichen m_m solange eintragen, bis wir plötzlich wiederum sehen, daß der Boden steinig, reich an harten, schwer verwitternden, fossilreichen Kalksteinen wird und eine Terrasse bildet, woraus wir erkennen, daß wir die Basis des oberen Muschelkalkes erreicht haben. Die harte, sogenannte Trochitenbank erhält in unserer Darstellung das Zeichen m_{o1}, und das auffällige Verhalten dieser Schicht im Gelände wird uns zugleich die Möglichkeit gewähren, von unserer Beobachtungslinie aus nach beiden Seiten hin ihren Verlauf im Felde auf eine Strecke zu übersehen und in der Karte einzutragen. Haben wir diese, gewöhnlich nur wenige Meter mächtige Bank überschritten, so kommen wir auf schwere, tonige, an plattigen Kalksteinstücken reiche, graugefärbte Äcker und werden einmal aus der bekannten Aufeinanderfolge der Schichten und sodann aus dem Auftreten charakteristischer Versteinerungen leicht den Schluß ziehen können, daß wir uns in der oberen Abteilung des oberen Muschelkalkes, den sogenannten Nodosenschichten, befinden, die wir nun in der Fortsetzung unserer Beobachtungslinie durch den Buchstaben m_{o2} charakterisieren.

Genau in entsprechender Weise verfährt man in den übrigen Formationen und wird umso weniger Mühe haben, die Schichtgrenzen genau feststellen, je größer der Unterschied in der petrographischen Beschaffenheit der aufeinanderfolgenden Schichtenglieder ist.

Bei dieser Verfolgung der einzelnen Schichten und der Aufsuchung ihrer Grenzen nach der Beschaffenheit ihres Verwitterungsbodens sind nun noch einige wichtige Punkte zu beobachten:

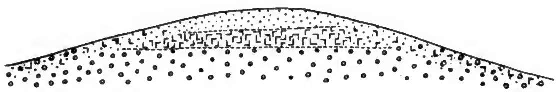
a) Gesteinsstücke, welche keine scharfen oder durch Verwitterungsvorgänge abgestumpften Kanten besitzen, sondern allseitig abgerundet und abgerollt sind und dadurch zu erkennen geben, daß sie einen Transport in fließendem Wasser durchgemacht haben, sind für die Beurteilung des Untergrundes nicht immer verwertbar. Man kann nur in dem Falle Schlüsse aus ihrer Verbreitung ziehen, daß der Untergrund selbst aus konglomeratischen Bildungen besteht, die in der Tiefe noch zu festem Gestein verkittet sind, oder wenn es sich um jüngere Bildungen handelt, die lose, unverkittete Anhäufungen bilden. Man wird in solchen Fällen übrigens oft genug unter-

scheiden können, ob man es in abgerollten Lesesteinen mit Anzeichen des Untergrundes zu tun hat, oder nicht. Im ersteren Falle sind die Steine meist gleichartig (homöogen), im anderen von sehr mannigfaltiger Herkunft (polygen). In allen anderen Fällen, also in Gebieten von Sandstein, Kalkstein, mergeligen, tonigen oder ähnlichen Gesteinen, wird man beim Auffinden größerer Mengen von solchen abgerollten, offenbar vom Wasser bewegt gewesenen Gesteinsstücken zu prüfen haben, ob sie Reste von alten Flußablagerungen sind, aus einer Zeit, in der die Flüsse sich noch nicht bis zur jetzigen Tiefe ihre Betten eingeschnitten hatten, sondern in weit höherem Niveau flossen, oder man wird sich die Frage aufwerfen müssen, ob durch menschliche Tätigkeit oder durch irgend einen Zufall diese Gerölle an ihren jetzigen Ort gebracht sein können. Das letztere wird vornehmlich in dem Falle anzunehmen sein, wenn es sich um ein auf ganz kleinen Raum beschränktes Vorkommen handelt. So finden sich an der Nordspitze Jütlands englische Juragesteine, aus dem Ballast eines gestrandeten Schiffes herrührend, am Laacher See Muschelkalkstücke als Abfälle von aus Lothringen herbeigeführten Bausteinen, an vielen Stellen Norddeutschlands Stücke von Niedermendiger Lava, aus zertrümmerten Mühlsteinen hervorgegangen. In Schiffsladungen kommt Saltholmskalk als Bau- und Düngekalk, Bornholmer Granit als Straßenschotter in die Ostseehäfen; beide werden oft weithin verschleppt. Diese Fälle zeigen, mit wie großer Vorsicht solche Gesteine zur Beurteilung des Untergrundes verwendet werden müssen.

b) An Abhängen wird ununterbrochen durch die Schwerkraft und durch die Tätigkeit des Regenwassers und der Schneeschmelze (vgl. S. 67), wohl auch durch ein Gleiten der Schneemassen selbst (Lawinenstürze), Material von oben nach unten geführt, während der umgekehrte Transportweg niemals eingeschlagen wird. Diese Beförderung von Gesteinsmaterial von oben nach unten wird umso stärker sein, je steiler ein Gehänge ist. Übrigens gibt der Gehängeschutt am meisten da zu Täuschungen Veranlassung, wo er auf mittleren und flachen Gehängeneigungen aufruht. An steilen Gehängen bildet er am Fuße zumeist deutlich abgesetzte Schuttkegel, die in der Kartendarstellung mit einem eigenen Zeichen zu geben sind, während darüber sich wenig oder gar kein das Felsgerüst verhüllendes Material findet. Es wird also am unteren Teile der Flanke eines Tales in dem Verwitterungsboden Material gemischt sein, welches aus allen Höhenlagen des Abhanges herrührt. Auf diesen Umstand ist bei der Aufsuchung der geologischen Grenzen sehr genau zu achten. In dem folgenden (Fig. 83) schematischen Querschnitte eines Hügels, in welchem drei verschiedene Schichten ausstreichen, sieht man, wie im unteren Teile das Material aller drei Schichten miteinander im Verwitterungsboden gemischt ist, während im mittleren

Teile nur noch zwei verschiedenartige Gesteine im Boden auftreten, und im oberen nur noch eines. Dieser weitverbreitete Fall gibt uns aber ein Mittel an die Hand, auch in den Fällen, wo anstehendes Gestein gar nicht zu beobachten ist, die geologische Grenze mit ziemlicher Schärfe und Sicherheit zu ziehen. Wenn man sich von unten her den Abhang hinaufbewegt, so wird man an der Stelle, wo von den im Boden auftretenden verschiedenartigen Gesteinen das eine verschwindet, annehmen können, daß hier die obere Grenze der untersten Schicht liegt, und man wird demzufolge an dieser Stelle einen Grenzpunkt in die Karte eintragen. Beim weiteren Aufwärtssteigen wird man ebenso das zweite Gestein verschwinden sehen und die zweite Grenze ziehen können, während die Einheitlichkeit im Verwitterungsboden in dem höhergelegenen Teil zu der Überzeugung verhilft, daß hier keine weitere Schicht folgt, sondern daß der ganze obere Teil aus einem und demselben Gestein gebildet wird. Wiederholt man nun eine derartige

Fig. 83.



Untersuchung an verschiedenen Stellen eines Hügels oder eines Talgehänges und findet dabei immer die Wiederkehr derselben Verhältnisse, so erhält man dadurch eine ganze Reihe von Grenzpunkten, welche hinreichend sind, Lagerung und Verbreitung der beteiligten Gebirgsglieder erkennen zu lassen. Das Mischungsverhältnis der verschiedenen Gesteine ist natürlich durchaus abhängig einmal von der Mächtigkeit der einzelnen übereinander lagernden Schichten und sodann auch von ihrer petrographischen Beschaffenheit. Eine gering mächtige Schicht wird natürlich verhältnismäßig weniger Schuttmaterial den tieferliegenden Gebieten zukommen lassen als eine gleichartige Gesteinsfolge von größerer Mächtigkeit. Umgekehrt kann eine geringmächtige Schicht dann unverhältnismäßig groß erscheinende Mengen von Schutt liefern, wenn sie aus einem Materiale besteht, welches weniger leicht verwittert oder zu kleinen Brocken zerfällt, als die darüber und darunter lagernden, vielleicht sehr viel mächtigeren Massen.

Da oftmals wichtige Leitschichten nur in Bänken von geringer Mächtigkeit auftreten, ja oft sogar nur wenige Zentimeter stark sind, so erhellt daraus, daß man auch auf diese nur in geringer Menge im Boden vorhandenen Gesteinsbruchstücke mit großer Sorgsamkeit zu achten hat, wie es denn überhaupt als eine Regel festzuhalten ist, daß bei der geologischen Untersuchung eines Gebietes auch scheinbar unbedeutende Erscheinungen unter

keinen Umständen gering geachtet werden dürfen, da sie oft zu weittragenden Schlüssen Veranlassung geben können.

In Kapitel 23 wird auseinandergesetzt werden, in welcher Weise in Gebieten, in denen keine festen Gesteine, sondern nur lose Bildungen auftreten, wie z. B. im ganzen norddeutschen Flachlande, die Ermittlung der geologischen Grenzen ausgeführt wird.

2. Die Bodenfärbung. Im 4. Kapitel ist bereits angegeben, in wie zahlreichen Fällen einzelne Schichten durch ihre eigentümliche Färbung sich unterscheiden, und es ist klar, daß, da solche Färbungsunterschiede bei der Verwitterung oft nicht nur nicht verwischt, sondern sogar noch viel auffälliger gemacht, ja, zum Teil überhaupt erst erzeugt werden, in ihnen ein ganz vorzügliches Hilfsmittel liegt, um bei der Begehung des Geländes die einzelnen Formationen und Formationsabteilungen zu unterscheiden und ihre Grenzen scharf zu erkennen. Auch hierbei ist natürlich dem Umstande Rechnung zu tragen, daß das feinere tonige Material, an welches die charakteristische Färbung gewöhnlich gebunden ist, einer weitgehenden Fortführung durch die Atmosphärilien talabwärts unterworfen ist, und daß dieses von oben herabgeführte, lebhaft gefärbte Material durch seine Vermischung mit dem Verwitterungsboden tiefer liegender, anders gefärbter Schichten auf die Gesamtfärbung des Bodens einen äußerst wesentlichen Einfluß gewinnen kann. Infolgedessen ist es in vielen Fällen leichter, die obere Grenze einer Schicht mit Sicherheit aus der Färbung des Bodens festzustellen, als die untere, vorausgesetzt, daß nicht auch in den höheren Schichten ähnliche Prozesse sich wiederholen. Die Benutzung der Farbe des Bodens zum Zwecke der Aufsuchung geologischer Grenzen ist bei niederem Stande der Sonne, also Morgens und Abends, mit gewissen Bedenken verknüpft, weil dann einerseits die langen Schatten, anderseits das an sich schon lebhafter gelbe und rötliche Sonnenlicht die Bodenfarbe wesentlich modifizieren. Auch ist es ein großer und wohl zu beachtender Unterschied, ob man einen Boden in der Richtung der auffallenden Sonnenstrahlen beleuchtet sieht oder ihnen entgegen. Auch die mehr oder weniger große Trockenheit ist von Einfluß, da nach Regen der Boden gewöhnlich anders (dunkler) gefärbt ist, als zur Zeit langer Trockenheit. Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß die übereinstimmende Färbung der geologisch gleichen bezw. die abweichende der verschiedenartigen Gebilde oft von entfernteren, eine Übersicht gestattenden Punkten aus leichter erkannt werden kann, als wenn man sich inmitten des betreffenden Gebietes befindet und nur kleinere Teile davon auf einmal übersehen kann.

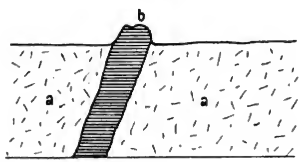
Kapitel 18.

3. Beobachtung der Oberflächenformen.

Von besonderer Bedeutung für die geologische Karte ist die schärfste und eingehendste Berücksichtigung aller, auch der feinsten Züge, die der Unterschied der Gesteine im Relief der Oberfläche hervorruft. Diese werden entweder dadurch bedingt, daß weichere Gesteine leichter mechanisch verwittern als härtere, oder daß manche Gesteine der chemischen Verwitterung, der lösenden Einwirkung der Tagewasser, einen geringeren Widerstand entgegenstellen als andere. Die einfachsten Fälle der erstgenannten Art sind Quarzgänge, die bei der Verwitterung des weicheren Nachbargesteins stehengeblieben sind und heute als sogenannte „Pfähle" oder „Teufelsmauern" ihre Umgebung überragen. Sie lassen sich, wie z. B. der berühmte Pfahl des Bayrischen Waldes, meilenweit über das Gebirge hin verfolgen.

Wenn Eruptivgesteine, beispielsweise Basalte, in lockerem Gestein aufsetzen, so können sie infolge der leichteren Zerstörung des letzteren mauerartig ihre Umgebung überragen. So finden sich im südöstlichen Island Gebiete, wo die aus den Tuffen herauspräparierten, in mehreren Richtungen

Fig. 84.



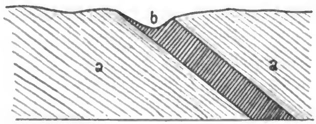
sich kreuzenden Basaltgänge so zahlreich auftreten, daß man die Mauern einer alten Ruinenstadt vor sich zu sehen glaubt. Auch die im fränkischen Keuper in Menge aufsetzenden schmalen Basaltgänge scheinen, wenigstens teilweise, bevor sie der Zerstörung durch den Menschen zu Wegebauzwecken anheimfielen, ihre Umgebung als sogenannte „Hexenmauern" überragt zu haben (Fig. 11 u. 84).

Anderseits können Einlagerungen von Kalksteinen in harten Schiefern durch chemische Auslaugung entfernt werden, so daß tiefe Depressionen ihre ehemalige Anwesenheit verraten (Fig. 85). Auch im Ausstriche von Braunkohlenflözen beobachtet man bisweilen langgestreckte, schmale, grabenartige Depressionen, die in der Lausitz als „Gieser" bezeichnet werden.

Von noch viel größerer Bedeutung aber sind die kleineren Züge, welche jeder Wechsel im Gesteinscharakter mehr oder weniger deutlich einer jeden

Landschaft aufprägt, deren heutiges Aussehen im wesentlichen auf die Wirkung der Erosion zurückzuführen ist. Selbstverständlich können solche Unterschiede in der Terrainbildung sich nur da entwickeln, wo das niederfallende Regenwasser Gelegenheit hat, oberflächlich abfließend seine nagende Tätigkeit zu entfalten, also an allen geneigten Flächen, nicht aber auf der Oberfläche ganz ebener Gebiete. Die Unterschiede in der Ausgestaltung

Fig. 85.

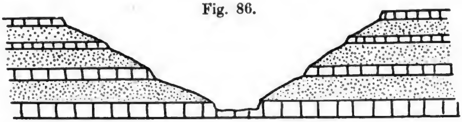


des Geländes, wie sie durch die größere oder geringere Widerstandskraft der einzelnen übereinander lagernden Schichten bedingt werden, finden sich natürlich am ausgesprochensten auf dem Boden und an den Flanken der Talsysteme.

Wenn wir mit dem einfachsten Falle beginnen, mit einer horizontalen Schichtentafel, wie wir sie beispielsweise in der süddeutschen jurassisch-triassischen Tafellandschaft, im thüringischen Triasbecken oder in der Sächsischen Schweiz haben, so nehmen wir in jedem Tale, welches in ein solches System eingesenkt ist, folgende Erscheinungen wahr: ist das Gestein von gleichartiger Beschaffenheit und von senkrechten Klüften durchsetzt, wie im Quadersandsteingebiete der Sächsischen Schweiz, so sind die Täler, welche sich das Wasser eingegraben hat, von schluchtenartigem Charakter, eng und von steil abfallenden Wänden eingeschlossen. Sie sind gewöhnlich in labyrinthischer Weise verzweigt, die erodierende Tätigkeit des Wassers ist mehr oder weniger dem Verlaufe der Kluftflächen gefolgt, und es kommen dadurch eigentümliche, oftmals überraschend kurze Knickungen und Biegungen der einzelnen Täler, sowie talaufwärts sich wiederholende Gabelungen vor. Tritt dagegen in der Beschaffenheit der die Talflanken zusammensetzenden Gesteine ein petrographischer Wechsel ein, so drückt sich dieser sofort in der Bodenplastik aus, indem die weichere Stufe flacher, die härtere steiler geböscht ist. Kehren derartige Wechsellagerungen verschiedenartiger Gesteine mehrmals wieder, so entstehen dadurch lang hinlaufende, terrassenartige Stufen in den Talflanken und an den Abhängen der die einzelnen Täler trennenden Rücken. Dabei zeigen alle Schichten ihre besonderen Eigentümlichkeiten, je nachdem die härtere Schicht nur eine geringe Mächtigkeit besitzt, oder eine starke Bank bildet, oder durch Zwischenlagerungen weicheren Gesteins eine Zwei- oder Drei-

teilung erfährt. Die Terrassen folgen in solchen horizontal gelagerten Schichten den Isohypsen; sie verlaufen von der Talflanke weiter oberhalb in den Talboden hinein, sie folgen den Einbiegungen aller kürzeren Schluchten

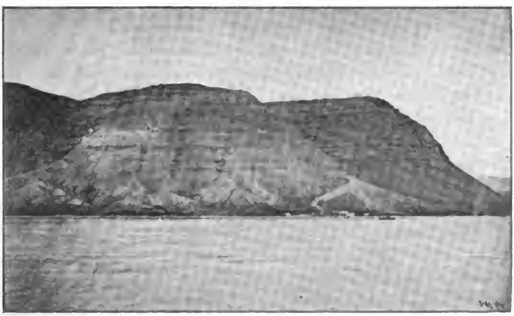
Fig. 86.



und Regenrisse und vermögen durch ihre in die Augen fallende Form gar oft auf den ersten Blick für ein weites Gebiet orientierend zu wirken (siehe Fig. 86).

Am großartigsten sind diese Beziehungen in dem gewaltigen Cañon des Rio Colorado in Arizona ausgedrückt, in welchem jede einzelne Bank ihren bestimmten, meilenweit verfolgbaren Einfluß auf die Form der Talwandungen ausübt. Vorzügliche Beispiele für die Wirkung der Erosion in

Fig. 87.

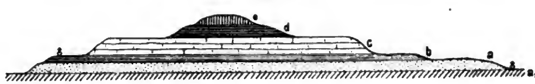


solchen Tafelländern bieten ferner die weiten Gebiete unserer Erde, in denen in Hunderten von Metern Mächtigkeit eine vulkanische Decke über der anderen liegt, wodurch jene gewaltigen Lavastromsysteme entstanden sind, die wir als Trappgebirge bezeichnen. Die Figur 87 gibt ein außerordentlich charakteristisches Bild einer solchen basaltischen Tafellandschaft und der Erosionsformen der in sie eingeschnittenen Täler aus der nordwestlichen Halbinsel Islands. Aber auch da, wo nur ein einziger vulkanischer Erguß in größerer Ausdehnung über die ebene Oberfläche eines ehemaligen Tafel-

landes ausgebreitet ist, treten uns ganz ähnliche Einflüsse des letzteren auf die Form der Landschaft entgegen. Durch die allmähliche Wirkung der zurückschreitenden Erosion ist diese Decke vielfach in eine Anzahl von einzelnen Stücken zerlegt worden, die nunmehr als schützende Platten auf einzelnen Bergen aufliegen und durch ihre petrographische Übereinstimmung, sowie durch das Zusammenfallen in eine Ebene ihre ehemalige Zusammengehörigkeit verraten. Sie erheben sich dann zumeist in steil aufragenden Wänden über den flach geneigten Flächen, die die Verwitterung aus ihrer in allen Fällen weicheren Unterlage herausmodelliert hat. Ich nenne als Beispiele die berühmte Skinnekulle bei Wenersborg in Schweden (Fig. 88), wo eine horizontale Diabasplatte *e* mit steil abfallenden Seiten auf flacher abgeböschten Silurschichten *a—d* auflagert, sowie gewisse auf Tertiär oder Buntsandstein auflagernde, heute isolierte Basaltkuppen des hessischen Berglandes.

Ist die durch besondere Härte sich auszeichnende widerstandsfähigere Schicht kein Eruptivgestein, sondern ein Sediment, so haben wir einen

Fig. 88.

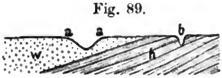


noch weit häufigeren Fall der Bildung von Tafelbergen. Besonders charakteristische Beispiele in dieser Beziehung bieten im kleinen die durch kleinere oder größere Tafeln aus mächtigen, harten, dolomitischen Schwammkalken gebildeten Tafelberge des weißen Jura von Franken, wie beispielsweise der bekannte Staffelberg, im großen die Zeugenberge in Nord- und Südafrika und die Mesas der südwestlichen Vereinigten Staaten.

Die Schichten, welche durch ihre große Widerstandskraft steiler aufragende Terrassen in der Erosionslandschaft erzeugen, sind in den weitaus meisten Fällen auch von hervorragender Bedeutung für die geologische Kartierung, und wir haben Gelegenheit gehabt, auf sie bei der Besprechung der auf geologischen Karten auszuscheidenden Schichtenglieder hinzuweisen.

Den Einfluß, welchen die Erosion in g e n e i g t e n Schichten von wechselnder Zusammensetzung auf die Gestaltung der Täler und des gesamten Geländes ausübt, hat R i c h t h o f e n, dem wir hierin vorzugsweise folgen, in seinem „Führer für Forschungsreisende“ in geistvoller Weise auseinandergesetzt: Wenn auf einem solchen geneigten Schichtensystem, in welchem Gesteine von verschiedener Härte miteinander wechsellagern, das Wasser in der Richtung des Schichtenstreichens fließt, so gräbt es in gleichartigem Gestein sich senkrecht in die Tiefe ein, und zwar erzeugt es dabei

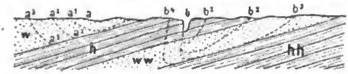
Fig. 89.



(Fig. 89) in hartem Gestein (*h*) einen engen Kanal (*b*), in weichem (*w*) wegen der stärkeren Abtragung der Seitenwände ein breiteres und tieferes Bett (*a a*).

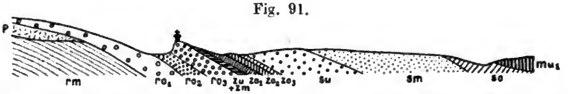
Vertieft sich das im weicheren Gestein eingegrabene Flußbett, so daß es das darunterlagernde härtere Gestein anschneidet (Fig. 90), so geht die Erosion nicht senkrecht in die Tiefe weiter, sondern die Sohle des Tales wandert auf der Fläche des harten Gesteins in der Richtung des Einfallens desselben abwärts und kommt nacheinander an die Punkte a^2 und a^3. Wird dagegen das im harten Gestein erodierte Tal *b* tiefer, so daß es das darunterliegende weichere Gestein erreicht, so bleibt die Richtung des Einschneidens

Fig. 90.



zwar senkrecht, aber es tritt eine einseitige Erweiterung des Tales ein, indem in der Richtung gegen das Einfallen hin das weichere Gestein unter dem harten unterwaschen wird und das letztere nachstürzt, und so nimmt dieses Tal allmählich die Formen $b\,b^1$, $b\,b^2$, $b\,b^3$ an. Kommt nunmehr die Talsohle abermals auf härteres Gestein, so tritt wieder derselbe Fall ein, den wir bei *a* hatten, indem nämlich nunmehr wieder die Talsohle im Einfallen der Schicht abwärts wandert und die bis dahin stabile, in unserem Bilde (Fig. 90) westliche Talseite in dieser Richtung vorrückt. Während aber

Fig. 91.



rm = Mittleres, ro_1 und ro_3 = Harte Konglomerate, ro_2 = Weicher Sandstein des Oberen Rotliegenden, zu = Unterer, zm = Mittlerer, zo_1—zo_3 = Oberer Zechstein, su = Unterer, sm = Mittlerer, so = Oberer Buntsandstein (Röt), mu_1 = Unterer Wellenkalk.
Profil vom Nordrande des Thüringer Waldes bei Elgersburg (nach E. Zimmermann).

das Tal *a* auf beiden Seiten von gleichmäßig geböschten Talwänden begrenzt wird, ist im anderen Falle *b* die eine Talseite dem Schichtenfallen einigermaßen konform, also flach geböscht, während die andere steil aufragt und sogar überhängen kann. Es ist also in allen den Fällen, in welchen im Querschnitte unsymmetrische Täler beobachtet werden, notwendig, den Ursachen dieses Mangels an Symmetrie auf das sorgsamste nachzuspüren. Bei sehr stark geneigten Schichten folgen die im Streichen liegenden Täler mit Vorliebe solchen Schichten, die durch leichte chemische oder mechanische Zerstörbarkeit den geringsten Widerstand bieten. Ein sehr schönes Beispiel hierfür bietet die Gegend von Elgersburg, wo hart am Fuße des

Thüringer Waldes Schichten des oberen Rotliegenden in steiler Stellung zu Tage treten. Hier schließen zwei mächtige Bänke von harten, sehr widerstandsfähigen Konglomeraten eine Masse von dünnplattigem Sandstein (ro_2) ein, der der Verwitterung nur geringen Widerstand zu leisten vermag; infolgedessen hat sich auf ihm ein dem Gebirgsrande parallel verlaufendes Tal so tief eingeschnitten, daß das jüngere Konglomerat (ro_3) als steil aufragende Mauer parallel vor dem eigentlichen Gebirge, zu dem es geologisch noch gehört, verläuft (s. Fig. 91).

Weit häufiger als die im Streichen liegenden Täler sind im gefalteten Gebirge diejenigen als Quertäler zu bezeichnenden Einschnitte, welche unter ungefähr rechten Winkeln die Streichlinien der Schichten durchschneiden. Wenn solche Schichten entgegengesetzt fallen, als das Wasser fließt, so gräbt letzteres sich schneller in das weiche als in das harte Gestein ein; dagegen hindern die Bänke des letzteren die tiefere Erosion in dem oberhalb gelegenen, im weicheren Gestein eingeschnittenen Teile des Tales. Infolgedessen lagern sich an solchen Stellen Sedimente ab, der Fluß nimmt darin einen gewundenen Lauf an, er benagt die Seitenwände des Tales und der Talboden erweitert sich in der durch die Horizontalprojektion (Fig. 92) dargestellten Art und Weise. In den festen Bänken selbst dagegen verwendet das Wasser alle Arbeit auf die Tieferlegung des Kanales, es fließt schnell hindurch und bildet dabei entweder einen Fall, oder es stürzt in einer Reihe von Kaskaden auf die nächsttiefere Talstufe hinab, verursacht dadurch im Beginne derselben Wirbel und wäscht je nachdem kleine, aber tiefe, oder größere, weniger tiefe Höhlungen aus, und als Resultat ergibt sich schließlich ein Wechsel von beckenartigen Talerweiterungen mit ebener Oberfläche und verbindenden Talengen mit starkem Gefälle. Wenn die härteren Gesteinsbänke eine größere Mächtigkeit erlangen, so können die Talböden

Fig. 92.

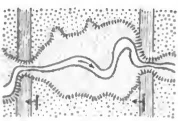


Fig. 93.

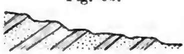


Fig. 94.

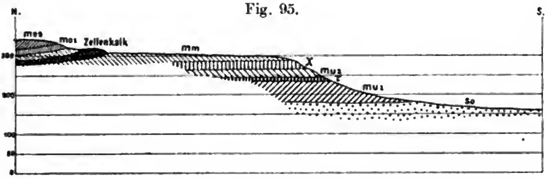


schließlich eine Reihe von übereinander liegenden Terrassen darstellen. Steigt die Erosionsfläche sehr steil über härteres und weicheres, kurzwechselndes Gestein an und wird sie von einem Wildbach durchströmt, so entsteht eine Reihe von kurz hintereinander folgenden Kaskaden, wie in Figur 93.

Wenn die Schichten in der Richtung des strömenden Wassers einfallen, wie in Figur 94, so entsteht ein ähnlicher Wechsel von langsameren und schnelleren Strömungen, aber mit minder scharfen Übergängen.

Aber nicht nur einzelne Gesteinsschichten vermögen durch ihre abweichende Härte im Gelände sich herauszuheben, sondern auch ganze Formationen können erhebliche Unterschiede in der allgemeinen Terraingestaltung erzeugen, sofern die mittlere Widerstandsfähigkeit der sie zusammensetzenden Gesteine eine verschiedenartige ist. So konnte im Hessischen vielfach die Grenze des Mittleren gegen den Unteren Buntsandstein daran erkannt werden, daß im Terrain ein Absatz sich fand, von welchem aus ein steilerer Anstieg begann. Er wird in diesem Falle durch das Zurücktreten der im Unteren Buntsandstein häufigen Lettenschichten bedingt; anderseits bildet der Obere Buntsandstein, der Röt, infolge seiner vorherrschenden Zusammensetzung aus weicheren, tonigen und mergeligen Gesteinen, flach geneigte Böden, die sich auf die steileren Anstiege des Mittleren Buntsandsteins auflegen. Eine noch viel mehr in die Augen fallende Terrainstufe bildet die nächsthöhere Formationsgrenze, in welcher die harten Kalksteine des Wellenkalkes sich auf den Röt auflegen. Auf diesen in Erosions-

Fig. 95.



gebieten meist sehr steil ansteigenden unteren Teil der Muschelkalkformation legt sich der aus milden Mergeln bestehende mittlere Teil dann wieder mit umso sanfteren, flacheren Terrainformen, ja oftmals mit langhingestreckten Depressionen auf, um seinerseits mit einer meist jäh abbrechenden, wenn auch nur ein paar Meter hohen Kante den Beginn des oberen Muschelkalkes anzuzeigen. In diesem letzteren sind es die außerordentlich harten Trochitenbänke, die fast durch den ganzen deutschen Muschelkalk hindurch eine scharf sich heraushebende Terrainstufe bedingen. Ausgezeichnete Beispiele für diesen Wechsel des Reliefs in der Trias bietet die Umgegend von Jena, wo in einem quer zum Saaltal gelegten Profil, welches vom Oberen Muschelkalk bis auf die untere Grenze des Röt hinabreicht, die Einflüsse der verschiedenen Formationsabteilungen auf die Bodengestaltung in der Weise zum Ausdruck gelangen, wie es Figur 95 darstellt.

Ganz ähnliche Verhältnisse sind es, welche den Steilabfall des Schwäbischen Jura, der Rauhen Alb, nach Norden bedingen. Auf die im allgemeinen weichen, von Lias und braunem Jura eingenommenen, in flachen Terrainwellen sich bewegenden Gebiete nördlich der Alb legen sich die zum großen

Teil aus harten Korallen- und Schwammkalken bestehenden Kalksteine des weißen Jura auf und erzeugen durch ihre viel größere Widerstandsfähigkeit jenen landschaftlich so außerordentlich reizvollen, schroffen Gebirgsrand.

Selbst petrographisch einander nahestehende Gesteine können infolge von Strukturverschiedenheiten Unterschiede in der Herausbildung der Terrainformen bedingen. So konnten im Erzgebirge Massen von Granitporphyr, die den petrographisch dort ganz ähnlichen Gneis durchsetzen, in ihren Grenzen nach einer Terrainstufe verfolgt werden, von welcher aus das Gelände im Granitporphyr steiler ansteigt.

Kapitel 19.

4. Beobachtung der Vegetation und Fruchtbarkeit.

Auch das grüne Kleid, welches den Boden bedeckt, kann für die Beurteilung der unterlagernden Gesteine und für die Aufsuchung der geologischen Grenzen von Bedeutung werden. Da nämlich nicht jede Pflanze mit jedem Boden vorlieb nimmt, sondern bestimmte Anforderungen an ihn stellt, entweder bezüglich seiner chemischen Zusammensetzung oder mit Rücksicht auf bestimmte physikalische Verhältnisse, so tritt nach diesen Gesichtspunkten in der Natur eine Sonderung der Vegetation in große Pflanzengenossenschaften ein, und man kann im allgemeinen darauf rechnen, auf dem gleichen Boden und bei übereinstimmender Kulturart (Wald, Feld, Wiese, Heide etc.) gewisse Pflanzengenossenschaften wiederzufinden. Wo die Unterschiede in der Zusammensetzung des Gesteins am schärfsten sind und vor allen Dingen da, wo sich dieselben auf pflanzenphysiologisch wichtige Bodenbestandteile beziehen, da springt auch der Unterschied in der Bedeckung des Bodens durch Bäume, Sträucher und Kräuter am meisten in die Augen. Ich kenne keinen schärferen Gegensatz der Vegetation als zwischen den an Kalk und Alkalien armen Kulmböden des Oberharzes und dem als stockförmige Masse sie durchragenden oberdevonischen Korallenkalkstocke des Iberges: auf der einen Seite, auf dem sterilen, steinigen Grunde Fichtenhochwald, auf dessen nadelbedecktem Boden fast keine Spur von Unterholz oder niedriger Vegetation sich findet, — auf der anderen Seite, abgegrenzt durch eine äußerst scharfe Linie, auf warmem, lockerem Boden prächtiger Buchenwald und auf dessen Grunde eine üppige Vegetation von Gräsern, Farnen, zahlreichen Blütenpflanzen und üppigem, buschigem Unterholze. Hier ist es vor allen Dingen der Gehalt an kohlensaurem Kalke, welcher die Änderung des Pflanzenbildes bedingt, und wir sehen solchen Wechsel in der Vegetation überall da wiederkehren, wo in

kalkfreien oder kalkarmen Schichten sich Einlagerungen finden, die an diesem Pflanzennährstoffe reich sind. So heben sich z. B. auf Blatt Liebengrün im Frankenwalde die Diabasgänge infolge ihres kalk- und alkalireichen Verwitterungsbodens auch floristisch ausgezeichnet von den kalkarmen Kulmböden ab und tragen als Charakterpflanzen den Kellerhals (Daphne Mezereum), den Türkenbund (Lilium Martagon) und die bald rot-, bald gelbblütige Orchis sambucina. In Mexiko beobachtete ich eine höchst merk-

Fig. 96.



würdige Beziehung zwischen geologischem Bau und Vegetationsdecke, die im obigen Bilde dargestellt ist.

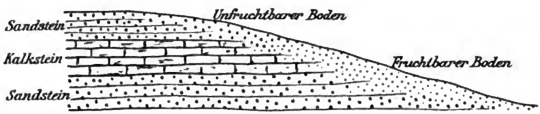
Ein Band von tonigen Valenginien ist mit kurzem Rasen bedeckt und hebt sich dadurch scharf ab von den mit Yucca, Agaven, Aloen und anderen größeren Pflanzen bewachsenen kalkigen Schichten im Hangenden und Liegenden. Der Verlauf des Rasenbandes läßt schon von weitem deutlich das Streichen parallel zum Talrande und das vom Tale abgekehrte Einfallen erkennen.

Wie der Unterschied der Fruchtbarkeit des Bodens zur Auffindung geologischer Grenzen benutzt werden kann, mag auch die Figur 97 zeigen, bei der man sich die Böschung natürlich bedeutend flacher zu denken hat. Zwischen einer Sandsteinfolge lagert in halber Höhe des Gehänges eine Kalk-

steinfolge. Während der obere Teil des Gehänges und das Plateau aus unfruchtbarem Sande besteht, stellt sich von der Stelle an, wo die hangendste Kalkbank ausstreichen würde, im Sande ein Kalkgehalt ein, der die Fruchtbarkeit wesentlich erhöht und das Aussehen der Felder ändert. Die nach unten hin wieder stark zunehmende Beimengung sandigen Materials weist auf das Vorhandensein einer zweiten Sandsteinfolge im Liegenden des Kalkes hin.

Auf den größeren Reichtum an Pflanzennährstoffen ist es auch zurückzuführen, wenn die schmalen Streifen, in denen Eruptivgesteinsgänge die Oberfläche schneiden, von den Landleuten wohl gekannt und wegen ihrer größeren Fruchtbarkeit hochgeschätzt sind. So berichtet Zimmermann einen solchen Fall, daß ein kalireicher, schmaler Gang von Tonalit-Porphyrit

Fig. 97.



in den minder fruchtbaren Schiefergebieten des Frankenwaldes auffällig durch seine Fruchtbarkeit sich auszeichnet. Auch da, wo Gehängewiesen den Schichtenaufbau vollständig verhüllen, verraten sich eingeschaltete Kalklager oder durchsetzende Eruptivgesteine mit größerem Reichtum an Pflanzennährstoffen bisweilen durch bandartige, die Wiesen durchziehende Streifen üppigeren, dunkelgrünen Graswuchses. Anderseits sind unfruchtbare Flächen gleichfalls durch besondere Pflanzengemeinschaften ausgezeichnet und können aus deren Verbreitung manchmal in ihren Umrissen deutlich erkannt werden, ja es können selbst bestimmte Kulturpflanzen bei der Beurteilung geologischer Fragen in Betracht kommen. So berichtet Liebe als eine allgemeine Erfahrung aus Ostthüringen, daß die im übrigen äußerst sterilen, fast nur aus Quarz bestehenden Sande und Konglomerate des Oligozän ganz hervorragend für das gute Gedeihen von Kirschbaumplantagen geeignet sind, so daß diese auf großen Flächen solcher Böden die einzige Kulturpflanze darstellen.

Ein Gegenstück zu dem oben angeführten Falle des Iberges, nämlich das Auftreten hervorragend steriler Flächen innerhalb mäßig fruchtbarer, finden wir da, wo in alten kristallinischen Gesteinen lagerförmige Massen von Serpentin eingeschaltet sind. Der an und für sich steinige, wenig Ackerkrume liefernde Verwitterungsboden dieses Gesteines besitzt so gut wie gar keinen Pflanzennährstoff, und infolgedessen heben sich die von ihm einge-

genommenen Gebiete als außerordentlich vegetationsarme, kahle, zum großen Teile felsige Partien aus der Umgebung heraus; mit Ausnahme von einigen Gräsern, Flechten, Moosen und wenigen anspruchslosen, kleinen Blütenpflanzen ist er der Vegetation bar, und nur in feuchten Felsspalten gedeihen an manchen Örtlichkeiten einige für ihn charakteristische Pflanzen, zwei kleine Farnkräuter, Asplenium adulterinum Milde, eine Abart von Asplenium viride, mit unten glänzend schwarzbraunem, an der Spitze grünem Stiel, und Asplenium serpentini Tausch, eine Verwandte von Asplenium adiantum nigrum.

Eine andere Gruppe von Pflanzen zeichnet solche Böden schon oberflächlich aus, in welchen, in den meisten Fällen durch von unten aufsteigende Quellen, der Boden eine größere Anreicherung mit Kochsalz erfahren hat. Es sind dies vielfach Pflanzen, die im übrigen nur noch an den Küsten der benachbarten Meere die Bedingungen für gedeihliche Existenz finden und durch ihre Anhäufung an isolierten Stellen des Binnenlandes, sowie durch ihr auffälliges Aussehen schon frühzeitig die Aufmerksamkeit auf solche Stellen gelenkt haben.

Wenn ich im folgenden eine Aufzählung der wichtigsten für die aufgeführten Bodenarten charakteristischen Pflanzen gebe, so ist diese immer mit der Einschränkung zu benutzen, daß eine einzelne Pflanze an sich noch keine genügende Beweiskraft besitzt, sondern daß erst das Zusammenvorkommen einer Anzahl derartiger charakteristischer Pflanzen in immer wiederkehrender Gemeinschaft dem Geologen bei der Ableitung der Verbreitung gewisser Schichten aus der Vegetation zum Anhalt dienen darf.

1. Von Pflanzen, die besonders auf kalkreichem oder mindestens nicht daran armem Boden gedeihen, mögen hier folgende genannt werden:

a) im Walde, an Waldrändern, in Gebüschen:

Pulsatilla vulgaris Mill.
Anemone silvestris L.
Arabis hirsuta Scop.
Hutchinsia petraea R. Br.
Dictamnus albus L.
Potentilla arenaria Barkh.
Bupleurum longifolium L.
Peucedanum officinale L.
Laserpitium latifolium L.
Cornus mas L.
Viburnum Lantana L.
Aster Amellus L.
Inula germanica L.
Inula salicina L.
Centaurea montana L.
Lactuca perennis L.
Hieracium praealtum Vill.
Gentiana cruciata L.
Gentiana ciliata L. und viele andere Gentianen.
Lithospermum purpureo-coeruleum L.
Orchis pallens L.
O. sambucina L.
Ophrys muscifera Huds.
Anacamptis pyramidalis Rich.
Cephalanthera grandiflora Babington.
Cephalanthera rubra Rich.
Epipactis rubiginosa Gaud.
Cypripedium Calceolus L.
Thesium montanum Ehrh.

b) Auf Feldern, an Wegen, Triften, trockenen Weiden, sonnigen Abhängen:

Adonis aestivalis L.
Adonis vernalis L.
Nigella arvensis L.
Erysimum orientale R. Br.
Erysimum odoratum Ehrh.
Linaria Elatine Mill.
Anthyllis vulneraria L.
Viele Orobranche-Arten.
Bupleurum rotundifolium L.
Orlaya grandiflora Hoffm.
Scandix pecten Veneris L.
Caucalis daucoides L.
Anagallis coerulea Schreb.
Sesleria coerulea Schreb.
Stipa pennata L.
Stipa capillata L.
Teucrium montanum L.
Carlina acaulis L.

c) Wiesen, feuchte Gräben:

Tussilago Farfara L.
Orchis ustulata L.
Orchis Rivini Gouan.

Viele dieser Pflanzen finden sich in dem einen Gebiete nur auf ausgesprochenem Kalkboden, während sie in anderen Gebieten auch auf schwereren tonigen und lehmigen, dabei aber völlig kalkfreien Böden angetroffen werden. Dahin gehören von obigen Pflanzen z. B. Tussilago Farfara L., Orchis Rivini Gouan, Anthyllis vulneraria L. und von anderen Lathyrus tuberosus L., Veronica opaca Fr., Valerianella olitoria Much., Lactuca Scariola L., Specularia speculum D. C. fil. u. a.

2. Manche Pflanzen wachsen mit Vorliebe auf Gipsbergen, wobei es dahingestellt bleiben muß, ob der schwefelsaure Kalk an sich sie dazu einladet oder die fast immer zusammen mit ihm vorkommenden Mengen von kohlensaurem Kalk. Solche Pflanzen sind beispielsweise:

Helianthemum Fumana Mill.
Gypsophila fastigiata L.
Silene Otites Sm.
Oxytropis pilosa D. C.
Astragalus exscapus L.
Coronilla montana Scop.
Thesium intermedium Schrad.

3. Pflanzen, die einen in der Hauptsache aus Quarz gebildeten Sandboden bevorzugen, sind die folgenden:

Teesdalea nudicaulis R. Br.
Spergula arvensis L.
Spergularia rubra Presl.
Hypericum pulchrum L.
Hypericum humifusum L.
Genista pilosa L.
Radiola linoides Gmel.
Filago arvensis Fr. und andere Arten.
Jasione montana L.
Trifolium agrarium L.
Vaccinium vitis Idaea L.
Linaria arvensis Desf.
Stachys arvensis L.
Pinus silvestris L.
Luzula campestris D. C.
Carex arenaria L.
Carex praecox Schreb.
Sedum acre L.
Viola tricolor L.
Ornithopus perpusillus L.

Helichrysum arenarium D. C.
Rumex Acetosella L.
Dianthus arenarius L.
Astragalus arenarius L.
Anchusa arvensis M. B.
Plantago arenaria W. K.
Arnoseris minima L. K.
Hieracium Pilosella L.

4. Von wichtigen Salzpflanzen seien die nachstehend verzeichneten angeführt:

Spergularia salina Presl.
Stellaria glauca Wither.
Capsella procumbens Fr.
Althaea officinalis L.
Artemisia maritima L.
Aster Tripolium L.
Lactuca saligna L.
Samolus Valerandi L.
Glaux maritima L.
Plantago maritima L.
Plantago coronopus L.
Apium graveolens L.
Bupleurum tenuissimum L.
Statice Limonium L.
Suaeda maritima Dum.
Salicornia herbacea L.
Obione pedunculata Moqu. Tand.
Rumex maritimus L.
Triglochin maritima L.
Ruppia rostellata Roch.
Zannichellia palustris L.
Juncus Gerardi Loisl.
Scirpus maritimus L.
Carex secalina Wahlb.
Hordeum secalinum Scherb.

5. Auch das Torfmoor hat seine eigentümliche Flora. Zu der des Hochmoors gehören vorwiegend kleine strauchartige Pflanzen, wie:

Erica Tetralix L.
Calluna vulgaris Salisb.
Ledum palustre L.
Myrica Gale L.
Andromeda poliifolia L.
Vaccinium uliginosum L.
Vaccinium Oxycoccus L.
Empetrum nigrum L., ferner
Eriophorum vaginatum L. und
Drosera anglica Huds.

sowie eine Reihe von Moosen aus der Gruppe der Sphagneen.

Auf Niederungsmooren dagegen finden sich alle diese Sträucher nur vereinzelt, während die Hauptmasse der Vegetation aus Gramineen, Cyperaceen und vor allem Cariceen besteht, zwischen denen zahlreiche Moose gewöhnlich nicht fehlen. Eine Charakterpflanze frischer Torfstiche ist Senecio paluster D. C.

Kapitel 20.

5. Beobachtung von Wasseraustritt. 6. Beobachtung von Flußgeröllen.

5. Beobachtung von Wasseraustrittsstellen: Wenn in einem Schichtensysteme undurchlässige Schichten mit solchen wechsellagern, die sich gegenüber dem Wasser durchlässig verhalten, so tritt das in den letzteren aufgespeicherte Wasser, wenn anders die Lagerungsverhältnisse der Schichten dies gestatten, oberhalb der undurchlässigen Schichten

zu Tage; je nach der Mächtigkeit der wasserführenden Schichten und nach den Neigungsverhältnissen wird dieser Wasseraustritt entweder sich dadurch äußern, daß eine Quelle oder eine Reihe von Quellen auf der betreffenden Grenzfläche ihren Austritt nehmen, oder daß bei geringen Mengen des austretenden Wassers es nicht zur eigentlichen Quellbildung kommt, sondern nur eine oft auf kleine Flächen („Naßgallen“) beschränkte Durchfeuchtung des Bodens sich einstellt, die entweder jahraus jahrein dauert oder in der trockenen Jahreszeit verschwindet.

Im ersteren Falle führt sie in den meisten Fällen zur Bildung versumpfter Stellen, an welchen meistenteils eine üppige Vegetation von Binsen, Riedgräsern, Schachtelhalmen und anderen wasserliebenden Pflanzen sich ansiedelt, oder wenn die Untergrundsverhältnisse und die Beschaffenheit des Wassers hierfür günstige sind, zur Entstehung kleinerer oder größerer Moorbildungen oder Kalktuffabsätze. In einem späteren Kapitel, in welchem die Aufsuchung von Quellen und von Grundwasser ausführlich behandelt ist, wird über diese Verhältnisse eingehende Mitteilung gemacht, und es mag hier nur darauf hingewiesen werden, von welcher Bedeutung die Austritte unterirdischer Gewässer für die Feststellung geologischer Grenzen sind.

Sobald der aufnehmende Geologe an solche Punkte kommt, an denen Quellen, Moore, Gehängemoore, Sümpfe, Kalktuffbildungen, oder nasse Stellen einen Grundwasseraustritt anzeigen, hat er die Pflicht, sich darüber klar zu werden, welchen Ursachen diese Erscheinung zuzuschreiben ist, und in den weitaus meisten Fällen wird es ihm gelingen, zu diesem Verhalten einen Schlüssel zu finden, mit dessen Hilfe wichtige Beobachtungen über die Verbreitung einzelner Gesteinsglieder zu machen sind, und durch die Verfolgung solcher Wasseraustritte Anhaltepunkte für das Ziehen seiner Grenzlinien zu gewinnen.

6. Beobachtung des von Flüssen und Bächen transportierten Materials: In derselben Weise, wie das an Gehängen durch seine eigene Schwerkraft und durch abfließendes Regen- und Schneeschmelzwasser nach unten transportierte Gesteinsmaterial, können auch solche Gesteinsbruchstücke für die Aufsuchung geologischer Grenzen nutzbar gemacht werden, die von Flüssen und Bächen transportiert werden. Es ist klar, daß die Gerölle, welche im Bette eines Flusses oder in dessen Hochwassergebieten auftreten, eine bunte Musterkarte aller der Gesteine geben müssen, die in dem von dem betreffenden Gewässer und seinen Zuflüssen durchflossenen Gebiete an der Oberfläche anstehend sich finden.

Die relative Häufigkeit der einzelnen Gesteine wird naturgemäß abhängig sein von der Größe der Flächen, die von den einzelnen Gesteinen in dem zugehörigen Gebiete eingenommen werden. Daneben aber spielt die größere oder geringere Härte und Festigkeit, sowie die chemische Lös-

lichkeit der Gesteine eine wesentliche Rolle. Zunächst nämlich werden solche Gesteine in relativ größerer Häufigkeit auftreten, die eine größere Widerstandsfähigkeit gegen die abschleifenden und auf Zerkleinerung der Gesteinsbruchstücke gerichteten Kräfte des bewegenden Wassers besitzen. Wenn beispielsweise in einem Gebiete lockerer Sandstein in überwiegender Menge, eingelagerte harte Quarzitbänke aber nur untergeordnet sich finden, so kann trotzdem das vom fließenden Wasser transportierte Material eine bedeutend überwiegende Menge von Quarzitgeröllen zeigen, da diese der Abrollung kräftigeren Widerstand zu leisten vermögen, als die weichen Sandsteine, die schnell zu feinem Sande zerrieben werden. Anderseits liefert mancher Quarzit überhaupt kein Gerölle, weil die betreffende Varietät zu zäh und kompakt ist, als daß sie in so kleine Stücke zerfiele, wie sie zum Transporte im Flusse geeignet sind. Ferner haben schwer lösliche und unlösliche Gesteine einen Vorzug vor leichter löslichen, so daß man beispielsweise Gerölle von Gips niemals in einem Flusse findet, während solche von Kalkstein zwar sehr häufig vorkommen, aber wiederum bei weitem nicht so weit flußabwärts transportiert werden, wie gleich feste, aber ganz unlösliche Sandsteine oder Grauwacken.

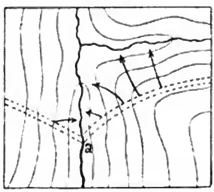
In wie hohem Maße die beiden genannten Faktoren, Widerstandsfähigkeit gegen mechanische und chemische Angriffe, die Mengenverhältnisse der Gerölle eines Flusses bedingen, dafür mag als Beispiel der Saalekies bei Jena angeführt werden, in welchem von Thüringerwaldgesteinen fast nur solche des Kulm und Kambrium zu finden sind, während die Gebiete des Silur und Devon, des Zechsteins und Buntsandsteins wegen des Vorherrschens weicher Schiefer, Sandsteine, Kalke und Dolomite fast gar kein Geröllmaterial geliefert haben.

Wenn man das Schottermaterial der Flüsse und Bäche zur Aufsuchung geologischer Grenzen benutzen will, so wird man es zunächst sorgsam daraufhin zu untersuchen haben, welche Gesteinstypen an seiner Zusammensetzung sich beteiligen, und wird dann, indem man sich flußaufwärts bewegt, sorgfältig darauf achten, ob man an Stellen kommt, wo eines der beobachteten Gesteine ganz aufhört. Man wird dann vermuten können, daß an dieser Stelle an den Gehängen des Tales die betreffende Schicht ihren äußersten stromaufwärts gelegenen Verbreitungspunkt in dem Stromgebiete des in Frage kommenden Flusses besitzt. Mündet an einer solchen Stelle in das Haupttal ein Nebental ein, so ist zu prüfen, ob das betreffende Gestein im Nebentale sich noch findet, oder ob es gar ausschließlich aus ihm herrührt, und es ist mit seiner weiteren Verfolgung dann in diesem Nebentale und in dessen eventuellen Verzweigungen fortzufahren. Als einen gewissen Beweis dafür, daß man sich dem Orte nähert, wo ein bestimmtes Gestein zum ersten Male im Flusse erscheint, kann man den Umstand betrachten, daß die Gesteinsbruchstücke größer werden und geringere Spuren von Abrollung zeigen,

daß sie also noch mehr oder weniger kantig sind und je weiter flußaufwärts, desto mehr scharfkantige Ecken darbieten. Wo ein Gestein im Flusse endigt, das auf einer gewissen Strecke eine hervorragende Rolle unter den Schottermassen gespielt hat, wird man die Beobachtung machen, daß es in dieser Rolle durch ein anderes Gestein ersetzt wird, von welchem man dann vorläufig anzunehmen hat, daß es das nächste ist, dessen Grenze man flußaufwärts antreffen wird. Man verfährt in dieser Weise, indem man die Täler und ihre Verzweigungen eine nach der anderen beläuft und die dabei gewonnenen geologischen Grenzen durch einen durch den Talboden gezogenen kurzen Grenzstrich markiert. Eine Ausnahme kann eintreten, wenn die Verhältnisse so liegen, wie in dem in Figur 98 dargestellten Falle.

Bei *a* durchsetzt eine Schicht das Bett des südwärts fließenden Flusses; der Punkt ist, wenn er direkt beobachtet wurde, natürlich als Grenzpunkt in die Karte einzutragen, obwohl der Fluß auch noch oberhalb dieser Stelle Gerölle des betreffenden Gesteins enthält und auch das nächste stromaufwärts folgende Seitental sie noch enthält, aus Gründen, die ein Blick auf die im Bilde durch Pfeile angedeuteten Verschotterungsrichtungen erkennen läßt.

Fig. 98.



Kleine kurze Täler sind für eine solche Verwendung des Schottermaterials zur Aufzeichnung geologischer Grenzen naturgemäß sehr viel geeigneter als meilenlange Talzüge. Selbstverständlich brauchen die Schichten, aus denen der Fluß Gerölle führt, nicht im Flußbette anzustehen, sondern können ebensogut hoch oben am Gehänge ausstreichen, überhaupt innerhalb des Gebietes, welches dem betreffenden Flusse tributär ist.

Große Sorgfalt ist bei einer derartigen Methode des Aufsuchens geologischer Grenzpunkte der Frage zu widmen, ob die abgerollten Flußgeschiebe von anstehendem Gestein herrühren, oder ob sie aus in einer früheren Periode in einem höheren Niveau abgelagerten jüngeren losen Kiesen und Schottern oder gar aus älteren Konglomeraten herrühren. Maßgebend für die Entscheidung dieser Frage wird im allgemeinen die Beobachtung sein, ob die betreffenden Gesteine bis zu dem Punkte ihres Aufhörens im Flußbette dieselben gleichmäßigen und intensiven Spuren der Abrollung und des Wassertransportes zeigen, oder ob sie, wie bereits angedeutet wurde, gegen das Ende ihrer Verbreitung hin eine mehr eckige Beschaffenheit annehmen.

In manchen Fällen wird es gleichgültig sein, ob das Schottermaterial von anstehendem Gestein oder von älteren Flußablagerungen abzuleiten ist, nämlich immer dann, wenn alle anderen Umstände dafür sprechen, daß der Lauf des Flusses in der jüngeren geologischen Zeit oder seit seiner Ent-

stehung keinerlei Veränderungen erfuhr, daß also das Entwässerungsgebiet das gleiche geblieben ist. Anders aber liegt die Frage, wenn sich Beweise dafür erbringen lassen, daß in früheren Zeiten der Lauf der Flüsse ein anderer war, und daß diese in ihrem älteren, höher gelegenen Laufe Material von Gebieten herbeiführen konnten, die dem Einflusse des betreffenden Gewässers bei seinem tieferen Einschneiden oder bei durch andere Umstände bedingten Stromverlegungen nicht mehr zugänglich waren. In solchem Falle können derartige Fragmente von dem heutigen Entwässerungsgebiete nicht angehörenden Gesteinen wertvolle Anhaltspunkte für die Feststellung älterer Flußläufe bieten, eine Frage, über die im Schlußkapitel des Abschnittes über Kartenaufnahmen noch weiteres zu finden ist.

Kapitel 21.

Die Eintragung der ermittelten Grenzpunkte. Die Bestimmung der Höhenlage unzugänglicher Punkte.

Um einen ermittelten Grenzpunkt seiner Lage nach genau in die Karte eintragen zu können, muß man seine Entfernung von einem in der topographischen Unterlage angegebenen Punkte kennen. Man ermittelt sie am schnellsten und in genügend zuverlässiger Weise durch Abschreiten. Voraussetzung ist, daß man genau das Verhältnis der Länge seines Schrittes zum Meter kennt. Man tut gut, durch Abschreiten auf ebener Straße und Zählen der Schritte zwischen je zwei 100 m voneinander entfernten Kilometersteinen sich einen Mittelwert für das Verhältnis von Schritt zu Meter zu verschaffen. Für einen mittelgroßen Menschen ist im allgemeinen das Verhältnis 5 : 4; es ist nicht schwer, durch Üben sich eine solche Schrittlänge anzueignen, welche die Umrechnung in den Metermaßstab der Karte sehr erleichtert. Für sandigen oder aufgeweichten Weg, für mit Saat bestandenen Ackerboden und für Wiesen braucht man etwas mehr Schritte für die gleiche Strecke, als auf hartem Wege; das Verhältnis ist etwa 0,96 : 1. Noch etwas kürzer werden die Schritte auf frisch gepflügtem oder geeggtem Acker und man tut gut, durch Abschreiten von Vergleichstrecken auf einem Wege und dem neben ihm liegenden Acker auch dieses Verhältnis ein für allemal festzustellen. Es ist ferner daran zu erinnern, daß ein ermüdeter Mensch kürzere Schritte macht als ein körperlich frischer; auch dieses Verhältnis ist etwa mit 0,96 : 1 anzunehmen.

Handelt es sich um Abschreitungen auf geneigten Strecken, so ändert sich das Verhältnis von Schritt und Länge mit dem Neigungswinkel. Man tut am besten, auch solche Strecken in der gewöhnlichen Gangart abzuschreiten und die durch die Neigung bedingte Verkürzung der Schritte nach

eigens gesammelten Erfahrungen in Rechnung zu bringen. Man schreitet zu diesem Zwecke Wegelängen von bestimmter Neigung mehrmals ab und berechnet aus dem erhaltenen Mittel die Schrittlänge. Dasselbe ist natürlich auch für den Fall erforderlich, daß man auf einer geneigten Fläche bergab geht, wobei eine mit der Neigung in anderer Weise abnehmende Verkürzung des Schrittes eintritt. Jordan hat die Veränderung des Normalschrittes auf Flächen von verschiedener Neigung aufwärts und abwärts durch Versuche festgestellt und gibt folgende Werte:

Setzt man den Normalschritt = 1, so ist die Länge des Schrittes

bei einer Neigung von	beim Aufwärtsgehen	beim Abwärtsgehen
5°	0,91	0,97
10°	0,81	0,94
15°	0,73	0,91
20°	0,65	0,87
25°	0,58	0,78
30°	0,49	0,65

Es verhält sich also die Zahl der Schritte abwärts zu aufwärts

bei 5°	wie	1 : 1,06	bei 20°	wie	1 : 1,34
„ 10°	„	1 : 1,16	„ 25°	„	1 : 1,34
„ 15°	„	1 : 1,25	„ 30°	„	1 : 1,33

Die ermittelten Schrittlängen bei geneigten Flächen sind nun in Horizontalmeter umzurechnen. Wenn man den Höhenunterschied des in der Karte enthaltenen Fixpunktes gegen den beobachteten Grenzpunkt entweder nach den Isohypsen der Karte oder durch Aneroid oder durch Handnivellement festgestellt hat, so kann man die Umrechnung nach der folgenden von Kahle gegebenen Tabelle vornehmen. Dieselbe gibt an, um wieviel die auf einen Meter Höhenunterschied gemachte Schrittzahl n zu vermindern ist, um Horizontalmeter zu ergeben. Die Tabelle gilt für einen Normalschritt von 0,8 m Länge und für Aufwärtsschreiten. Beim Abwärtsschreiten erhaltene Schrittzahlen sind zunächst nach der vorigen Tabelle umzurechnen.

n	d	n	d
4,3	2,6	9	3,0
4,5	2,5	10	3,1
5,0	2,5	15	4
5,5	2,5	20	5
6	2,5	25	6
7	2,7	30	7
8	2,8	50	11

Beispiel: Zur Zurücklegung der Entfernung zwischen zwei Punkten, deren Höhenunterschied 9,8 m beträgt, braucht man beim Aufwärtssteigen 61 Schritte, auf 1 m Höhe also $\frac{61}{9,8} = 6,2$ Schritte. Die Tabelle gibt für 6,2 einen Abzug von 2,5. Wir erhalten also die Länge für 1 m Unterschied $= 6,2 - 2,5 = 3,7$ Horizontalmeter und für die ganze Länge $9,8 \times 3,7 = 36$ m.

Wenn es darauf ankommt, an sehr steilen Gehängen die Lage eines geologischen Grenzpunktes zu bestimmen, so liefert natürlich die Abschreitung kein zuverlässiges Ergebnis mehr. Man wird sich in solchem Falle vielmehr darauf beschränken, die Höhe des Ausstrichpunktes über einem gegebenen Punkte der Karte festzustellen und dem letzteren dann nach der Lage der Isohypsen seinen Platz in der Karte anzuweisen. Selbst wenn die Höhenlinien das Terrain nicht genau wiedergeben, tut man doch besser, die richtige Höhenlage, als den richtigen Punkt auf falscher Höhenlinie einzutragen, da im letzteren Falle ganz falsche Schlüsse über die Mächtigkeit der Schicht sowie über ihre Lagerungsverhältnisse veranlaßt werden könnten, oder man berichtigt die Kartenunterlage.

Zur Bestimmung der Höhenlage des Grenzpunktes bedient man sich entweder eines Aneroids oder eines Handnivellierinstrumentes.

a) A n e r o i d. Wenn es sich um kleinere Höhendifferenzen bis zu 30 m und um die Erlangung eines einigermaßen sicheren Resultates handelt, so braucht man ein größeres Instrument mit etwa 11 cm Skalendurchmesser, welches Ablesungen auf etwa 2 m Genauigkeit gestattet. Ist eine derartige Genauigkeit nicht erforderlich, so genügt ein Durchmesser von 6—7 cm. Noch kleinere Aneroide sind für unseren Zweck nicht verwendbar. Wenn es sich nur, wie in unserem Falle, darum handelt, die Höhendifferenz zweier Punkte festzustellen, so braucht man sich um den jeweiligen Luftdruck nicht zu kümmern, sondern man nimmt, wenn die beiden Ablesungen kurz nacheinander gemacht werden, an, daß er unverändert geblieben ist. Man stellt, wenn man ein Aneroid mit doppeltem Teilkreise besitzt, die Höhe des durch die Karte bekannten Punktes auf den daselbst abzulesenden Barometerstand ein und kann nun die Höhendifferenz mit dem gesuchten Punkte und die ungefähre absolute Höhenlage des letzteren ohne weiteres ablesen.

b) Als Ersatz für ein immerhin ziemlich teures, großes Aneroid kann man sich eines Verfahrens der Höhenmessung bedienen, welches eine Art Nivellement mit einfachsten Hilfsmitteln darstellt. Als Messungsinstrument dient die geschlossene Kanalwage[1]) oder das Horizontglas. Erstere besteht aus einer etwa 1 cm starken, kreisförmig oder rechteckig

[1]) Zeitschr. f. prakt. Geol. 1896. S. 10.

gebogenen, geschlossenen Glasröhre, welche zur Hälfte mit einer gefärbten Flüssigkeit gefüllt ist. Will man die Höhe eines ermittelten Grenzpunktes über einem bekannten Punkte feststellen, so beginnt man das Nivellement am letzteren. Man bringt die Kanalwage in solche Stellung, daß das Auge mit den beiden Niveaus der Flüssigkeit in gleicher Ebene liegt (Fig. 99), und zielt nun in der Richtung des Weges das Terrain an. Dadurch ermittelt man einen Punkt am Boden, der so hoch über dem Ausgangspunkte liegt wie das Auge des Beobachters. Man merkt sich nun diesen Punkt an kleinen Unebenheiten des Bodens, Steinchen, Halmen, Blättern oder einem anderen ins Auge fallenden Gegenstande, behält ihn während des Daraufzuschreitens im Auge und stellt sich auf ihm auf, um den nächsten, ebenso viel höheren Punkt zu ermitteln. Die Wage läßt sich bei einiger Übung sehr ruhig halten. Ob die Wagerechte durch beide Flüssigkeitsniveaus das Auge trifft, läßt sich besser feststellen, wenn man die Wage so weit dreht, daß die beiden Niveaus scheinbar unmittelbar nebeneinander liegen, so daß man zwischen beiden hindurchzielt. — Man verfährt nun so weiter, bis man den letzten Punkt unterhalb der beobachteten Grenze einvisiert hat. Die dann noch übrigbleibende Differenz wird geschätzt. Die absolute Höhe des Punktes ist nun gleich der Zahl der Ablesungen, multipliziert mit der Augenpunkthöhe. Die letztere muß man sich für seinen Körper dadurch ermitteln, daß man eine Zimmerwand mehrere Male hintereinander anvisiert, die ermittelte Höhe mißt und aus den verschiedenen Resultaten das Mittel nimmt. Ganz analog ist das Verfahren bei Anwendung des Seite 9 beschriebenen Horizontglases.

Fig. 99.



Auf weichem Acker, wo der Fuß etwas einsinkt, oder auf junger Saat, wo man die Oberfläche der Saat anvisiert und mit dem Fuße tiefer steht, hat man den Wert für die Augenhöhe ein wenig zu verringern.

Auch an senkrechten, völlig unzugänglichen Wänden kann man die Höhenlage eines Grenzpunktes mit Hilfe der Kanalwage ermitteln. Dieselbe muß zu diesem Zwecke eine angeklebte oder eingeätzte Gradeinteilung besitzen, welche es gestattet, den Winkel direkt abzulesen, den die Längsseite mit der Horizontalebene bildet.

Man visiert den gesuchten Punkt von zwei Stellen einer auf ihn zulaufenden horizontalen Standlinie, etwa den beiden Seiten eines unterhalb der Felswand vorüberführenden Weges an, notiert die beiden erhaltenen Winkel, mißt durch Abschreiten die Länge der Basis und berechnet nun die Höhe des Punktes entweder trigonometrisch oder durch Eintragen der Winkel und Längen in Millimeterpapier und direkte Abmessung. In beiden Fällen ist zu dem erhaltenen Resultate die Augenhöhe hinzuzufügen. Eine direkte

Höhenmessung ermöglicht in solchen Fällen die Benutzung des Seite 10 beschriebenen Höhenmessers.

Manchmal wird es möglich sein, einen Punkt zu erreichen, der mit dem gesuchten unzugänglichen sich in gleicher Höhe befindet und von dem aus er sichtbar ist; in diesem Falle kommt man schneller zum Ziele, wenn man die Höhe des zugänglichen Punktes durch Aneroid, Horizontglas oder Kanalwage ermittelt, wobei natürlich beide letztere auch genaue Feststellung der übereinstimmenden Höhenlage beider Punkte gestatten.

Eine Reihe von weiteren praktischen Winken für bestimmte Fälle der Höhenmessung findet sich in den Jahrgängen 1894—1896 der Zeitschrift für praktische Geologie, Berlin, bei J. Springer, in der Aufsatzfolge: P. Kahle, Kartieren für technische und geographische Zwecke, welcher der größte Teil der obigen Darlegungen entnommen ist.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, daß man mit Hilfe eines Bohrstockes mit horizontalem Handgriffe eine annähernde Bestimmung der Tiefe eines Aufschlusses, eines Eisenbahneinschnittes oder einer ähnlichen stark geböschten Fläche ausführen kann. Man stellt den Einmeterbohrer mit der Spitze auf und visiert am Griffe vorbei den nächsten einen Meter höherliegenden Punkt an und fährt damit fort bis zum oberen Rande des Aufschlusses.

Kapitel 22.

Aufsuchung und Kartierung von Verwerfungen.

Zu den oft schwierigsten Aufgaben des kartierenden Geologen gehört die Feststellung der Verwerfungen[1]), und doch spielen gerade sie in der Tektonik zahlreicher und ausgedehnter Gebiete eine so hervorragende Rolle, daß ihre Aufsuchung und Verfolgung von der größten Wichtigkeit für die Erkenntnis des geologischen Baues ist.

Die Ursache der Schwierigkeit, Verwerfungen zu kartieren, liegt zu allermeist in der Unmöglichkeit, bei einer einzelnen Beobachtung alsbald zu unterscheiden, ob man es mit einer Verwerfung oder mit übergreifender Lagerung (Transgression) zu tun hat. Die besten Kriterien bietet bei solchen Zweifeln die Grenzfläche. Bei Transgression ist das Liegende durch Abrasion

[1]) Der Ausdruck „Verwerfer", der öfters für Verwerfung benutzt wird, ist entschieden zu mißbilligen, weil durch die Art der Wortbildung auf eine aktive Tätigkeit der Spalte bei der Verschiebung der einzelnen Schollen hingedeutet wird, die natürlich völlig fehlt. — Auf französischen und englischen Karten und Profilen findet man die Stelle einer Verwerfung, resp. den sie darstellenden Strich mit dem Buchstaben f (faille, fault) bezeichnet. Es wäre sehr wünschenswert, daß auch bei uns ein solches konventionelles Zeichen eingeführt würde, und ich möchte dafür den Buchstaben v (Verwerfung) vorschlagen.

in der Weise zerstört worden, daß die härteren Schichten weniger, die weicheren mehr abgetragen sind. Auf diese unregelmäßige Abrasionsfläche nun legt sich die übergreifende erste Schicht auf und zwar zumeist mit einem groben Trümmergestein, einem Konglomerate oder grobkörnigen Sandsteine. Bei Verwerfungen dagegen sind harte und weiche Schichten des Liegenden in gleicher Weise durchschnitten, die Grenzfläche zeigt eine Reibungsbreccie oder spiegelnde Harnische, und auf der Grenze sind häufig chemische Ausscheidungen, meist von Quarz oder Kalkspat, erfolgt. In vielen Fällen gehen die letzteren sogar bis zur Bildung von Erz- und Mineralgängen auf der Spalte. Auch das Auftreten von Eruptivgesteinsgängen ist oft an Verwerfungsspalten geknüpft.

Nur in den seltensten Fällen bieten sich Verwerfungsspalten der unmittelbaren Beobachtung dar, und zwar sind das dann noch gewöhnlich kleinere Spalten, die den Bau einer Landschaft nur unwesentlich beeinflussen, und an denen die Verschiebungen nur einen geringen Betrag erreicht haben. Dagegen sind die großen, über viele Meilen ausgedehnten Verwerfungen, die den Bau ganzer Gebirge bedingen, fast niemals der unmittelbaren Beobachtung zugänglich. Die Gründe hierfür sind mannigfacher Art. In der Nähe großer Verwerfungen sind auf beiden Seiten die Schichten gewöhnlich außerordentlich gestört, umgebogen, geschleppt, zusammengefaltet oder vollständig zertrümmert. Demzufolge bietet solche Spalte und ihre nähere Umgebung den angreifenden und zerstörenden Kräften einen geringeren Widerstand dar, als alle sie umgebenden Gebiete, die Verwitterung hat hier die der Spalte benachbarten Gesteine umgewandelt und ausgelaugt, es haben sich auf diese Weise in der Oberfläche Vertiefungen, zuweilen selbst Erdfälle bilden können, die dann von den Seiten her mit allerlei jüngeren Bildungen wieder ausgefüllt wurden, so daß in diesem zerrütteten Gebirge die Verwerfung selbst völlig verschwindet. Diese leichtere Zerstörbarkeit führt sogar in vielen Fällen dazu, daß der Verlauf der großen Verwerfungen von den Gewässern der Oberfläche benutzt wird, so daß die Verwerfungen direkt mit den Talzügen zusammenfallen; auch in diesem Falle ist ihre Beobachtung natürlich ganz unmöglich, da die fluviatilen Sedimente ihr Ausgehendes bedecken. Aber auch da, wo bei günstigen Aufschlüssen einmal eine große Verwerfungsspalte mit bedeutender Sprunghöhe der Beobachtung zugänglich wird, vermag man in vielen Fällen an einer solchen Stelle nur wenig direkt zu sehen, denn da gewöhnlich zu beiden Seiten der Spalte eine starke Zertrümmerung oder auch Zerreißung der Schichten stattgefunden hat, und da bei den enormen Bewegungen entlang der Spalte in ihrer Nähe die Gesteine der beiderseitig angrenzenden Gebiete vielfach durcheinandergeknetet sind, so wird man auch da nur ganz ungefähr die genauere Lage der Hauptspalte feststellen können; selten ist eine Dislokation von größerer Bedeutung so

schön aufgeschlossen wie jene, die den südwestlichen Rand des Thüringer Waldes gegen das triassische Vorland abschließt, in der Gegend von Krock bei Eisfeld, wo man die Tonschiefer des Kambrium gegen arg gestörte Wellenkalkschichten so scharf abschneiden sieht, daß man die Hand auf die Spalte legen kann und mit einer Seite den Muschelkalk, mit der anderen das Kambrium berührt.

In vielen Fällen besteht ein bedeutender petrographischer Unterschied zwischen den Gesteinen beiderseits einer Verwerfung, und wenn sich dieser in verschiedener Durchlässigkeit gegenüber dem Grundwasser äußert, so ist reichliche Wasserzirkulation und das Auftreten von Quellen auf der Spalte eine gewöhnliche Erscheinung; dadurch wird natürlich auf und an der Spalte das Gestein in höherem Maße zerstört, die Oberfläche vertieft und auf ihr die Bildung jüngerer Sedimente gefördert, so daß auch in diesem Umstande ein Grund mehr für die seltene Sichtbarkeit von Verwerfungen zu sehen ist. Aus dem Gesagten geht also klar hervor, daß der Geologe nur den allergeringsten Teil der Verwerfungen, die er feststellt und kartiert, zu sehen bekommt und daß er ihre Existenz aus einer Reihe von besonderen Beobachtungen abzuleiten gezwungen ist, die wir im folgenden näher kennen lernen werden. Die Möglichkeit, durch derartige Beobachtungen im Felde Verwerfungen aufzufinden, geht bisweilen so weit, daß man nicht nur ihr Streichen und Einfallen, sondern auch die Sprunghöhe und die Art der Bewegung mit ziemlicher Sicherheit feststellen kann.

Die Beobachtungen, aus denen der Geologe das Vorhandensein von Verwerfungen mit Sicherheit schließen kann, beziehen sich auf Änderungen in der petrographischen Beschaffenheit der Gesteine, auf Änderungen im Streichen und Einfallen der Schichten und auf Quellenlinien. Eine einzige dieser Beobachtungen wird in den meisten Fällen nicht genügen, um die Gewißheit vom Vorhandensein einer Verwerfung zu verschaffen, sondern es werden immer mehrere Beobachtungen so zusammentreten müssen, daß jede andere Möglichkeit der Erklärung ausgeschlossen ist.

Wenn eine Verwerfungsspalte entstand und auf ihrer einen Seite die Schichten in die Tiefe sanken, so mußte ein je nach der Neigung der Spalte mehr oder weniger steiler Absturz im Terrain die natürliche Folge sein. Es wäre aber durchaus unrichtig, wenn man erwarten wollte, daß heute regelmäßig das Vorhandensein von Verwerfungen sich gleichfalls noch in solchen Terrainstufen äußern sollte, denn in der ungeheuren Mehrzahl der Fälle hat die Denudation seit der Zeit der Störung in so großem Umfange an der Abtragung der Schichten gearbeitet, daß jene ursprüngliche Ungleichförmigkeit beiderseits einer Verwerfung vollkommen hinweggewischt wurde und die Erdoberfläche über der Verwerfung wie abgehobelt erscheint, ja es kommt sogar der Fall vor, daß bei beträchtlicheren Unter-

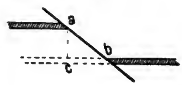
schieden in der Härte der Gesteine auf beiden Seiten der Verwerfung der stehengebliebene Teil um so viel stärker abgetragen sein kann, als der gesunkene härtere, daß im Terrain heute dieser eine höhere Lage einnimmt als jener. Trotz der ungeheuren Arbeit, welche die Denudation geleistet hat, kommen doch noch Fälle vor, in denen Verwerfungsflächen direkt an der Oberfläche als steile Abstürze sichtbar werden. Es ist dies besonders da der Fall, wo durch eine Verwerfung eine sehr harte, widerstandsfähige Schicht so gegen weichere, leicht zerstörbare abstößt, daß die harte den liegenden Flügel der Verwerfung bildet. So kann man bei Manebach in Thüringen die Verwerfung, welche das Manebacher kohlenführende Rotliegende gegen den Kickelhahnporphyr abschneidet, in einer unter 45° einfallenden, außerordentlich ebenen und glatten, mit einer dünnen Schicht von Reibungsbreccie überzogenen Porphyrfläche im Walde am großen Hermannsstein beobachten. Auch sonst vermögen wohl petrographische Unterschiede in den Gesteinen beiderseits der Verwerfung kleine Änderungen in der Terraingestaltung zu bedingen, die man aber unter keinen Umständen mit den durch die Dislokation selbst verursachten ursprünglichen Verschiebungen der Erdoberfläche verwechseln darf.

Wenn der Geologe das Glück hat, in einem Aufschlusse, etwa am Meeresufer, oder in einem Eisenbahneinschnitte, in bergbaulichen Aufschlüssen, oder in der Schlucht eines Flusses, das Hindurchsetzen einer Verwerfung unmittelbar zu beobachten, so ist dieser Punkt natürlich mit Sorgfalt in der Karte seiner Lage nach einzutragen, es ist das Streichen und das Einfallen der Verwerfungsspalte festzustellen, wozu man durch die Verbindung der Beobachtungen an beiden Seiten einer Schlucht oder eines Eisenbahneinschnittes am leichtesten zum Ziele gelangt, und es ist festzustellen, welche Schichten auf beiden Seiten der Verwerfung aneinander grenzen. Vermag man im Anfang der Arbeit noch nicht mit Sicherheit zu erkennen, welches die relativen Altersverhältnisse der beiderseitigen Schichten sind, so kann man natürlich auch noch nicht ahnen, in welcher Weise entlang der Verwerfungsspalte Bewegungen stattgefunden haben, und welchen Betrag die Sprunghöhe ungefähr besitzen mag. Man muß sich in einem solchen Falle eine genaue Profilaufnahme machen und in diese alle Daten eintragen, die nötig sind, um die Ergebnisse des Aufschlusses mit anderen Stellen zu vergleichen. Ist man aber mit der Altersfolge der Schichten in der betreffenden Gegend bereits vertraut, so daß man genau weiß, welche Schichtenstufen man vor sich hat, und kennt man außerdem die Mächtigkeit der einzelnen Formationsglieder, so ist es nicht schwer, aus dem Mächtigkeitsbetrage der Schichten, welche der Zeit ihrer Entstehung nach zwischen zwei auf einer Spalte aneinanderstoßenden Schichten liegen müssen, die Sprunghöhe der Verwerfung festzustellen. Man hat dabei (Fig. 100) zu unterscheiden zwischen dem Betrage der auf der Spalte selbst stattgehabten

Verschiebung, die man als „flache" Sprunghöhe (*ab*), und dem Vertikalbetrage der Verschiebung, den man als „saigere" Sprunghöhe (*ac*) bezeichnet.

Noch einige Beobachtungen sind zu nennen, die sich an offen der Betrachtung sich darbietenden Verwerfungen machen lassen; sie beziehen sich auf die Spalte selbst und ihre unmittelbare Umgebung. Ist die Spalte sehr schmal, so ist die Wirkung der Verschiebung auf ihr die, daß die beiden Spaltenwände sich aneinander abgerieben und abgeschliffen haben, so daß glatte, oftmals spiegelnde Flächen entstehen, die man als „Harnische" oder „Spiegel" bezeichnet. Eine Parallelstreifung darauf vermag oftmals einen Anhalt zur Beurteilung der Frage zu liefern, ob die Bewegung entlang der Spalte eine vertikale, horizontale oder nach diesen beiden Richtungen zugleich erfolgte diagonale gewesen ist. Etwas breitere Spalten sind durch Nachstürzen des zerrütteten Gebirges beiderseits der Spalte mit Gesteinsschutt erfüllt, der, wenn die Bewegung wie gewöhnlich ruckweise erfolgte, in eine sogenannte Reibungsbreccie umgewandelt ist. In ganz breiten Verwerfungsspalten dagegen sind von oben her in regelloser Weise große und kleine Schollen der angrenzenden Gesteine niedergebrochen und liegen, jeder Gesetzmäßigkeit entbehrend, wüst durcheinander, so daß sie selbst die Beobachtung der Spalte erschweren oder unmöglich machen können.

Fig. 100.



Wenn in horizontal lagernden oder schwach geneigten Schichten Verwerfungen auftreten, so kündigt sich ihre Nähe, wenn sie einen nennenswerten Umfang besitzen, fast immer dadurch an, daß der Schichtenbau seine Einfachheit verliert, daß Faltung, Knickung, Aufwölbung und kleinere oder größere Schleppungen oder Zerrüttungen stattfinden, und man kann umgekehrt bei der Beobachtung derartiger Erscheinungen in vielen Fällen den Verdacht haben, daß eine Verwerfung die Ursache ist. Die Breite dieser Zerrüttungszone beträgt wenige Meter bis zu einem Kilometer und mehr und ist im allgemeinen von der Bedeutung der Verwerfung insofern abhängig, als Brüche mit großer Sprunghöhe von breiteren Störungszonen, solche von geringer Sprunghöhe von weniger breiten begleitet werden. Selbst Schieferungserscheinungen können durch die gewaltigen Druckkräfte bei den Bewegungen entlang einer Verwerfungsspalte erzeugt werden. So ist z. B. bei der Lausitzer Überschiebung der Granit stellenweise geschiefert und in ein tonschieferartiges Gestein umgewandelt worden.

Kommt man im Verfolgen der geologischen Kartierungsarbeit aus eben lagernden Schichten in ein derartig gestörtes Gebiet, beobachtet man dabei, daß die Störungen in einer bestimmten Richtung an Stärke zunehmen, und findet man dann weiter, daß an einer bestimmten Stelle ein neues Gestein oder ein Glied einer älteren oder jüngeren Formation auftritt, so

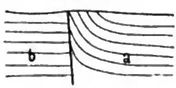
liegt der Verdacht nahe, daß dieser Gesteinswechsel durch eine Verwerfung bedingt ist. Nehmen wir beispielsweise an, daß wir aus einer Folge von Mergel und Kalkstein, die zuerst ungestört lagern, weiterhin aber mehr und mehr steil aufgerichtet erscheinen, plötzlich an Granit oder ein anderes Eruptivgestein oder an alte Grauwacken oder Tonschiefergesteine kommen, so ist zu prüfen, ob noch andere Erklärungsmöglichkeiten vorliegen, oder ob ein derartiges Verhältnis ausschließlich durch eine Verwerfung zu erklären ist.

Beim Granite könnte die Möglichkeit vorliegen, daß er eine Intrusivmasse darstellt, welche jünger ist als die gestörten Schichten, aber in diesem Falle müßten die zunächst angrenzenden Schichten kontaktmetamorphische Erscheinungen zeigen. Fehlen diese und spricht auch nichts dafür, daß eine natürliche Anlagerung an eine granitische Insel vorliegt, d. h. also eine mantelförmige Umlagerung einer ehemaligen Klippe, die bereits durch das Auftreten von Konglomeraten oder ähnlichen gröberen Gesteinen an der unmittelbaren Berührungsstelle mit dem Granit sich verraten würde (auch der maximale Böschungswinkel solcher angelagerter Schichten ist zu berücksichtigen!) — kurz, sind alle diese Möglichkeiten ausgeschlossen, so ist mit Sicherheit anzunehmen, daß man es mit einer Verwerfung zu tun hat.

Die Art und Weise der Schichtenumbiegung in der Nähe der Verwerfung vermag zugleich einen Hinweis zu liefern, in welcher Weise die Bewegungen vor sich gegangen sind.

Sind die Schichten aufgebogen (Fig. 101), so daß die Schichtenköpfe zu Tage ausstreichen und man in der Richtung auf die Verwerfung zu auf immer ältere Schichten stößt, so ist es klar, daß die betreffende Schichtenfolge (*a*) auf der Verwerfung in die Tiefe gesunken ist, wobei unmittelbar an ihr die Schichten aufgebogen („geschleppt“) sind. Sind umgekehrt die Schichten nach unten gebogen, so daß man bei vorher horizontalen Schichten, ebene Oberfläche vorausgesetzt, in der Richtung auf die Verwerfung an immer jüngere Schichten kommt, so wird die Annahme berechtigt sein, daß der andere Flügel der Verwerfung in die Tiefe gesunken ist, und den Rand des diesseitigen Teiles mit nach unten geschleppt hat (Fig. 102), oder daß dieser aufwärts bewegt wurde.

Fig. 101.



Natürlich kann auch der Fall eintreten, daß beide Flügel der Verwerfung, der eine aufwärts, der andere abwärts bewegt, und die angrenzenden Partien entsprechend geschleppt wurden (Fig. 103).

Hat man an einer Stelle eine Verwerfung mit Sicherheit konstatiert, so vermag man mit Hilfe der Tatsache, daß die meisten Störungen, wenigstens auf größere Strecken hin, einen geradlinigen oder nur flachbogigen Verlauf besitzen, von vornherein mit einiger Wahrscheinlichkeit die Punkte im Terrain anzugeben, wo man hoffen darf, abermals die Störung aufzu-

finden. Erweisen sich die Vermutungen als richtig, so steht nichts im Wege, die Beobachtungspunkte auf der Karte durch eine starke Linie miteinander zu verbinden, auf welcher man einen Pfeil ansetzt, welcher die Seite angibt, auf der eine Abwärtsbewegung stattgefunden hat. Noch größer wird die Sicherheit, daß eine Verwerfung vorliegt, wenn man sieht, daß auf der als Verwerfung gemutmaßten Grenze gegen das eine Gestein nacheinander verschiedene Schichten abstoßen. Ein solcher Fall kann natürlich nur eintreten, wenn die Verwerfung nicht im Streichen der Schicht liegt („streichende Verwerfung“), sondern dasselbe unter irgend einem Winkel schneidet („spießeckige oder Querverwerfung“, s. Kap. 12). Grenzen auf einer Verwerfung nicht Sedimentärgesteine an Eruptivgesteine, sondern lagern erstere

Fig. 102.

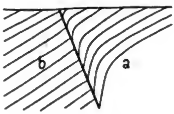
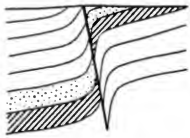


Fig. 103.



auf beiden Seiten, so ist bei streichenden Verwerfungen von geringem Umfange die Verschiebung dann oberflächlich außerordentlich maskiert, wenn beiderseits der Verwerfung dasselbe Gestein auftritt. Es ist dies besonders der Fall in den ausgedehnten und petrographisch so außerordentlich einförmigen Buntsandsteingebieten, in denen die Weiterverfolgung der in den anderen Formationen gut beobachteten Verwerfungen oftmals zu einer völligen Unmöglichkeit wird. Eine streichende Verwerfung läßt sich bei der geologischen Kartierung manchmal dadurch erkennen, daß eine Schichtenreihe sich wiederholt. Tritt dies mehrmals hintereinander ein, was häufiger vorkommt, so hat man es mit mehreren parallelstreichenden Verwerfungen zu tun. Wir haben schon oben bei Besprechung der Faltung gesehen, daß die Schichtenwiederholung eine wesentlich andere ist, wenn eine Faltung vorliegt, als wenn sie durch eine streichende Verwerfung bedingt ist; denn während in dem einen Falle (s. S. 82) das Schema *a b c d a b c d* ist, ist es im Falle einer isoklinalen Faltung *a b c d c b a*. Solche Wiederholungen können aber nur dann eintreten, wenn die Verwerfung entgegengesetzt einfällt, als die verworfenen Schichten. Ist ihr Einfallen das gleiche, so kann es entweder steiler sein als die verworfenen Schichten oder flacher. Ist es steiler, so können die verworfenen Schichten nicht wieder zu Tage ausgehen und man wird dann auf eine Verwerfung durch die Beobachtung geführt werden, daß eine anderwärts beobachtete Schichtenreihe unvollständig entwickelt ist, indem ein oder mehrere Schichtenglieder plötzlich fehlen (*f* in

Fig. 104). Fallen die Schichten aber steiler ein als die Verwerfung, so können natürlich auch die verworfenen Schichten wieder zu Tage ausgehen und es können dann ähnliche Schichtenwiederholungen stattfinden, wie in dem oben angeführten Falle.

Ein anderes ganz vortreffliches Mittel, um im Terrain Verwerfungen zu erkennen, besteht in der Beobachtung des Streichens. Wenn man sieht (Fig. 105), daß an zwei Punkten identische Schichten ein derartiges Streichen haben, daß die beiden Richtungen sich unter einem spitzen Winkel schneiden, und die beiden Punkte so nahe aneinanderliegen, daß es völlig unmöglich ist, anzunehmen, daß in dem Zwischenraume zwischen den beiden eine völlige Schichtenumbiegung etwa in Form einer Mulde oder einer kuppelförmigen Lagerung stattgefunden hat, so ist man zu dem Schlusse berechtigt, daß der Unterschied des Streichens auf eine Verwerfung zurückzu-

Fig. 104.

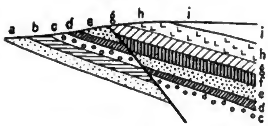
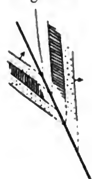


Fig. 105.



führen ist. Dasselbe ist der Fall mit plötzlichen und unvermittelten, nicht durch Faltung erklärbaren Änderungen im Winkel des Einfallens, und die letztere Beobachtung muß vor allen Dingen dann den Verdacht auf eine Verwerfung begründen, wenn die Einfallsrichtungen voneinander ab- oder aufeinander zugekehrt sind und es unmöglich ist, beispielsweise wegen des ganz verschiedenen Alters der aufeinander zu- oder abfallenden Schichten an eine Sattel- oder Muldenbildung zu denken.

Sehr eigentümlich äußert sich die Wirkung von Verwerfungen, wenn durch sie ein sattel- oder muldenförmig geneigtes Schichtsystem betroffen wird. Nehmen wir den einfachsten Fall an, daß eine horizontale Mulde von einer Querverwerfung durchschnitten wird, und daß der eine Flügel der Verwerfung gegenüber dem anderen in die Tiefe gesunken ist. Wird nun durch die Denudation die durch die Sprunghöhe erzeugte Niveaudifferenz oberflächlich wieder vollständig beseitigt, so muß naturgemäß eine in der Mulde lagernde Schicht (Fig. 106) auf dem in die Tiefe gesunkenen Teil in zwei Linien zu Tage ausstreichen, die viel weiter voneinander entfernt sind, als die Ausstrichlinien derselben Schicht in dem im höheren Niveau liegengebliebenen Gebirgsteile. Das umgekehrte ist der Fall, wenn es sich um einen Sattel handelt, von dem der eine Teil gesunken ist. Hier

müssen, wenn die obengenannte Voraussetzung erfüllt ist, in der Horizontalprojektion die Ausstriche der beiden Flügel einer Schicht in dem abgesunkenen Teil enger aneinanderliegen, als in dem stehengebliebenen (Fig. 107). In den Figuren 106 und 107 ist angenommen, daß der rechts der Verwerfung liegende Flügel in die Tiefe gesunken ist. Die Notwendigkeit wird am leichtesten erkannt werden durch die Betrachtung der folgenden schematischen Modellbilder, die aus Kaysers Allgemeiner Geologie entnommen sind (Fig. 108). Die Beobachtung eines derartigen Schichtenausstriches an mehreren Stellen wird also gleichfalls ohne weiteres durch Verbindung dieser Beobachtungspunkte zu einer Verwerfungslinie kartographisch verwendet werden können.

Wenn auf einer streichenden Verwerfung nur horizontale Verschiebungen stattgefunden haben, so werden sie sich nur in dem Falle erkennen lassen, daß eine vertikale Masse, ein Erzgang oder ein Eruptiv-

Fig. 106.

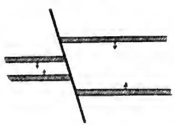
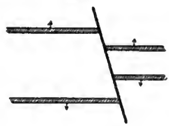


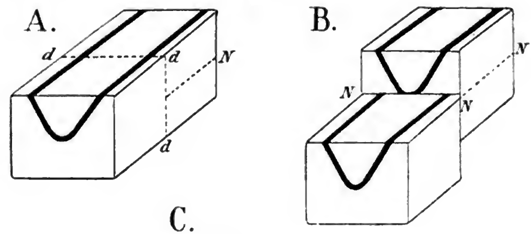
Fig. 107.

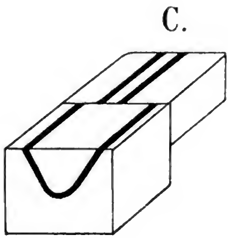


gesteinsgang, von dieser Verschiebung betroffen ist. Dieser wird in solchem Falle an der einen Stelle auf der Verschiebung abstoßen und an einer anderen Stelle seine Fortsetzung haben, und die Entfernung der beiden Punkte voneinander würde den Betrag der Verschiebung ergeben. Beobachtet man aber in der Natur einen derartigen Fall, d. h. das Abbrechen eines solchen Gangkörpers und sein Wiederaufsetzen an einer anderen Stelle, so darf man daraus nicht von vornherein auf eine horizontale Verschiebung schließen, dieselbe Wirkung wird vielmehr in allen den Fällen erzeugt, in welchen geneigte Schichten von senkrechten Verwerfungen oder horizontale Schichten von schräg einfallenden Verwerfungen geschnitten werden. Die folgenden, ebenfalls aus Kaysers Allgemeiner Geologie entnommenen Modelldarstellungen (Fig. 109) geben ein anschauliches Bild von diesem Vorgange, und man sieht daraus, daß man bei der Beurteilung von Verwerfungen niemals sich auf einen einzelnen Faktor beschränken darf, sondern daß man immer in dem Zusammentreffen mehrerer Erscheinungen erst die Bestätigung einer gefaßten Meinung zu suchen hat.

Wir haben im Kapitel 12 bereits den Fall besprochen, daß eine Flexur in eine Verwerfung übergeht. Ein Zwischenglied, welches in der Natur ziemlich häufig zu Beobachtung gelangt, besteht darin, daß bei der mit der Flexur verbundenen Auszerrung der Schichten die Kontinuität der einen

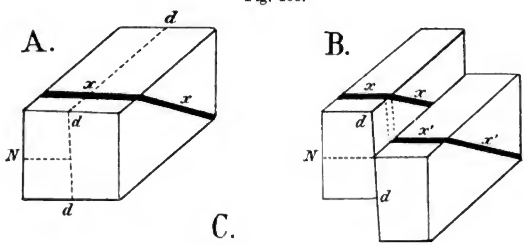
Fig. 108.

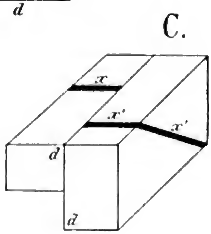




Von einer Querverwerfung betroffene Mulde.

Fig. 109.





Modelle zur Erläuterung der Entstehung von Schichtenverschiebungen durch Querverwerfungen.

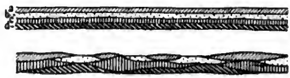
A. Schichtenblock vor eingetretener Verwerfung.

B. Derselbe, mit längs der Kluft *d d d* bis zum Niveau *N* abgesunkenen rechten Flügel.

C. Derselbe, nachdem der stehengebliebene Teil durch Abtragung so weit erniedrigt worden, daß seine Oberfläche mit der des gesunkenen Teiles zusammenfällt.

oder der anderen unterbrochen und die einzelne Schicht in eine Anzahl von linsenförmigen Körpern aufgelöst erscheint, und daß die den verschiedenen Schichten entsprechenden Teilmassen so aufeinanderfolgen, daß wohl eine oder mehrere Schichten fehlen können, die Reihenfolge der aufeinanderfolgenden Schichten aber der Altersfolge entspricht. Trifft man z. B. in einer schmalen Zone die vier Schichten *a b c d*, die in der angegebenen Folge im normalen Profile übereinanderliegen, in der in beifolgender, einen Grund-

Fig. 110.



riß darstellenden Figur 110 unten angegebenen Oberflächenverbreitung, so kann man mit ziemlicher Sicherheit auf das Vorhandensein von Flexurverwerfungen schließen.

Von großer Wichtigkeit für die Aufsuchung und Verfolgung von Verwerfungen ist die Beobachtung von Quellen und den mit dem Austritte von Grundwasser verknüpften Erscheinungen, Versumpfungen des Bodens, feuchten Stellen, Humusbildung, Gehängemooren und Kalktuffen. Im Kapitel über die Aufsuchung von Quellen sind die Gründe für die starke Wasserführung vieler Verwerfungsspalten näher auseinandergesetzt. Wenn dem Geologen Quellen und ähnliche Erscheinungen begegnen, so darf er natürlich nicht ohne weiteres auf Verwerfungen schließen, sondern muß zunächst sorgfältig prüfen, auf welche Ursache das Auftreten der Quelle zurückzuführen ist, und erst, wenn aus der Lagerung der angrenzenden Gebirgsschichten die Annahme einer Schichtenquelle sich als unmöglich erweist, die Lagerung dagegen für eine Verwerfung spricht, darf man die Quelle auf solche beziehen. Überhaupt ist die einzelne Quelle kein hervorragend geeignetes Mittel zur Erkennung und Feststellung einer Verwerfung; vielmehr dienen erst in Reihen angeordnete Quellen dazu, den Verlauf einer durch anderweite Beobachtungen festgestellten Störung mit größerer Leichtigkeit zu erkennen.

Die starke Wasserführung vieler Verwerfungsspalten hat an zahlreichen Stellen mineralische Neubildungen, hauptsächlich von Quarz und Kalkspat, zur Folge gehabt, die nicht nur die Spalte selbst erfüllen, sondern auch in das Nebengestein eindringen und dieses imprägnieren können. Man hat also auch im Vorkommen der genannten Mineralien Aufforderungen zur Prüfung auf etwaige Verwerfungen zu erblicken. Streichende oder Längsverwerfungen sollen im allgemeinen wasserarm, Querverwerfungen reicher daran sein. Aus diesem Grunde sollen auch die Erzgänge meistenteils die Ausfüllung von Quer- oder spießeckigen Verwerfungen sein.

Die Zirkulation der auflösend wirkenden Spaltenwasser löst oft Gesteinsmassen im Erdinnern auf und schafft Hohlräume, die, wenn sie der Oberfläche nahe genug liegen, zusammenbrechen können. Dann entstehen Erdfälle. Solche Stellen, an denen zwei in verschiedener Richtung verlaufende Spalten sich schneiden, sollen besonders zur Bildung von Erdfällen geeignet sein, so daß also auch dieses Phänomen in den Kreis der für Aufsuchung von Verwerfungen wichtigen Erscheinungen gehört.

Kapitel 23.

Die Aufsuchung geologischer Grenzen in Gebieten loser (tertiärer und quartärer) Bildungen.

Die Aufsuchung der geologischen Grenzen in solchen Gebieten, in denen sich überwiegend oder ausschließlich lose Bildungen an der Zusammensetzung der Oberfläche beteiligen, vor allen Dingen also in den Ablagerungsgebieten eiszeitlicher Gletscher, erfolgt nach denselben Grundsätzen, wie im älteren anstehenden Gebirge. Wie dort besonders angegeben, sind auch hier die petrographische Beschaffenheit, die Verwitterungsbildungen, die Verhältnisse der Vegetation, die Formen der Oberfläche, die Beobachtungen der durch Quellen, Versumpfung und Moorbildung sich kund gebenden Wasseraustrittstellen nach den bereits angegebenen Gesichtspunkten zu verwerten. Ebenso bietet die Beobachtung der Kulturgrenzen, das Auftreten von Wiesen in Wäldern und Äckern, die Verbreitung des Nadel- und Laubwaldes, der Charakter des Waldes und die besonderen Eigentümlichkeiten, die der Wuchs der Waldbäume auf den verschiedenartigen Bodenarten zeigt, zahlreiche Anhaltspunkte für die Erkennung geologischer Grenzen. Dagegen tritt gerade in diesen Gebieten eine gewisse Erschwerung der Beobachtung durch die Einwirkung ein, welche der Mensch auf den Boden ausgeübt hat. Wenn sandige Böden durch ausgiebige Melioration, durch Auftrag großer Mengen tonig-kalkiger Bildungen, sogenannten Mergel, verbessert sind, so wird die Ackerkrume in den meisten Fällen nur schwer von derjenigen von vornherein lehmiger Böden sich unterscheiden lassen. Durch starke Düngung und intensive Kultur kann die Ertragsfähigkeit eines leichten Bodens so gesteigert werden, daß die auf ihm wachsenden Nutzpflanzen nicht mehr einen zuverlässigen Schluß auf die geologische Unterlage zulassen. Durch Tiefkulturen kann in großen Gebieten die Oberfläche eine weitgehende Veränderung erfahren, indem oftmals abweichende Schichten des flacheren Untergrundes an die Oberfläche gebracht werden. In den Alluvialgebieten großer Täler, in welchen durch die Hochwasser der Ströme ausgedehnte Schlickablagerungen erzeugt werden, die bei Über-

flutungen oder Deichbrüchen dann bisweilen von dünnen Sanddecken überzogen werden, findet mancherorts, beispielsweise im Weichseldelta, in großem Umfange eine vollständige „Wendung" des Bodens statt, in der Weise, daß ein Streifen nach dem anderen umgegraben, die ursprünglich an der Oberfläche lagernde Sandschicht in die Tiefe und der unter ihr lagernde fette Schlick an die Oberfläche gebracht wird. In den Moorgebieten verändern die sogenannten Moordammkulturen, bei welchen eine Sandschicht von einigen Dezimetern Mächtigkeit über dem Torfe ausgebreitet wird, das Ansehen der Oberfläche und die Vegetation in einer so gründlichen Weise, daß man nicht mehr ohne weiteres die ursprünglich die Oberfläche bildende Schicht erkennen kann. Noch in anderen Gegenden sind die verschiedensten losen Bildungen, Löß, Geschiebemergel, Sand und Ton am Ende der Diluvialzeit einem ausgedehnten Humifizierungsprozesse unterworfen gewesen, und die petrographisch verschiedenartigen Gesteine unterscheiden sich dann in ihren zu Tage liegenden obersten Teilen in keiner Weise mehr voneinander. Es treten fernerhin, besonders im Alluvium, viele an der Oberfläche lagernde Schichten nur in so gering mächtigen Decken auf, daß es notwendig wird, in geologischen Karten auch die nächstfolgende, der Beobachtung nicht mehr direkt zugängliche Schicht zur Darstellung zu bringen. Ganz besonders ist dies notwendig mit Rücksicht auf das Auftreten landwirtschaftlich nutzbarer Bildungen, wie z. B. der für Meliorationszwecke so bedeutungsvollen Süßwasserkalklagerstätten, die fast immer unter mehr oder weniger mächtigen Ablagerungen noch jüngeren Alters sich finden. Aus allen diesen Gründen wird bei der Aufsuchung von Grenzen im Gebiete diluvialer und alluvialer Schichten die Anwendung des Bohrers zu einem unvermeidlichen, notwendigen Hilfsmittel. Es ist im 1. Kapitel näher auseinandergesetzt worden, welche Bohrerkonstruktionen für solche Arbeiten am zweckmäßigsten sind, und in welcher Weise diese Handbohrungen ausgeführt werden.

Bei der Untersuchung des aufzunehmenden Gebietes werden Bohrungen nach verschiedenartigen Gesichtspunkten ausgeführt werden müssen:

1. Zur Aufsuchung geologischer Grenzen.
2. Zur Erkennung der Lagerungsbeziehungen.
3. Zur Feststellung des Untergrundes flacher Schichten.

1. Bei der Grenzaufsuchung im Gebiete quartärer Schichten gelten in Bezug auf die Wahl der Beobachtungslinien dieselben Gesichtspunkte, die an früherer Stelle für die Aufnahmearbeiten in Gegenden, in denen vorwiegend ältere Schichten auftreten, bereits angegeben sind. Soweit Fuß- und Fahrwege irgendwelcher Art, Gestelle im Walde, Waldränder und andere von der Natur gebotene Linien zur Verfügung stehen, wird man diese benutzen und im übrigen sich, je nach Bedarf, dazwischenliegende Linien auswählen, deren Lage man mit Sicherheit in die Karte

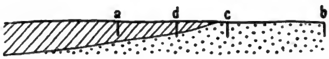
eintragen kann. Man stellt an dem Punkte, an welchem man die Arbeit beginnt, durch eine Bohrung unter Beobachtung der Verwitterungsschicht fest, auf welchem petrographischen Gebilde man sich befindet, und verfolgt dann seinen Weg, indem man nach den angegebenen Gesichtspunkten sorgsam beobachtet, ob man sich weiterhin in demselben Gebilde bewegt oder Veranlassung zu der Annahme hat, daß die petrographische Beschaffenheit des Untergrundes eine andere geworden ist. Treten solche Zweifel auf, so überzeugt man sich durch eine Bohrung, ob sie begründet sind oder nicht; zeigt die Bohrung an dieser zweiten Stelle eine andere Schicht, so hat man sich rückwärts zu begeben und durch eine neue Bohrung wiederum die Beschaffenheit des Untergrundes festzustellen. Hat man dabei gefunden, daß zwischen zwei Bohrungen ein Gesteinswechsel stattgefunden hat, so halbiert man den Zwischenraum zwischen beiden, führt eine neue Bohrung aus und fährt in dieser Weise durch Verkleinerung der Abstände der einzelnen Bohrungen so lange fort, bis man erkannt hat, daß die Grenze zwischen zwei so nahe aneinander liegenden Punkten sich befindet, daß ein zwischen dieselben gelegter, fester Grenzpunkt bei dem Kartenmaßstabe von 1 : 25000 um nicht mehr als 10—15 Schritte, also um einen in der Karte nicht mehr ausdrückbaren Betrag, schwanken kann. Man fährt in dieser Weise fort und erlangt so auf der Begehungslinie, je nach den geologischen Verhältnissen, eine wechselnde Zahl von Grenzpunkten. Indem man nun nach Möglichkeit parallel zu der ersten eine zweite Beobachtungslinie begeht und untersucht, erhält man auch auf dieser eine Reihe von weiteren Grenzpunkten und überdeckt dann in gleicher Weise eine größere Fläche mit einem solchen System von Beobachtungslinien und festen Grenzpunkten. Unter Berücksichtigung der Terrainverhältnisse wird es möglich sein, in vielen Fällen auf Grund dieser Beobachtungspunkte direkt die geologischen Grenzen zu ziehen. Ist aber das Terrain sehr eben und bietet keine Anhaltspunkte, so ist es nötig, die Stellen, über welche hin man sich die Grenzlinie verlaufend denkt, direkt zu begehen und durch Beobachtung der Ackerkrume und der Vegetation mit Benutzung von Hilfsbohrungen ihren genauen Verlauf festzustellen.

Es ist nun in keiner Weise möglich, von vornherein anzugeben, wie eng oder wie weit die einzelnen zur Feststellung der Grenzen dienenden Bohrungen voneinander entfernt sein müssen, es ist dies vielmehr einerseits von der Übung und Geschicklichkeit des aufnehmenden Geologen, anderseits von der größeren oder geringeren Mannigfaltigkeit und Abwechslung in den Terrainverhältnissen und dem geologischen Bau des betreffenden Gebietes abhängig. Auf großen, ebenen Flächen, beispielsweise in Tälern und auf flachen Hochebenen, wird man die Bohrungen in größeren Abständen voneinander ausführen. An Talgehängen oder in Gebieten, wo eine starke Abwaschung der Schichten stattgefunden hat, werden die Bohrungen

gehäuft werden müssen. An Steilgehängen, besonders wenn diese mit Wald bestanden sind, wird man so häufig bohren müssen, daß der Ansatzpunkt eines jeden tieferliegenden Bohrloches ungefähr in derselben Höhe liegt, wie der tiefste Punkt, welchen die Spitze des Bohrers bei der nächsthöheren Bohrung erreicht hat. Natürlich macht auch an solchen Gehängen das Auftreten von Wasserrissen, in welchen die Schichten der direkten Beobachtung zugänglich sind, eine Verminderung der Zahl der Bohrungen angängig; ebenso ist es selbstverständlich, daß der Anfänger eine weitaus größere Zahl von Bohrungen zu seiner eigenen Information ausführen wird, als der Geübtere, und es wird jeder, der sich mit solchen Arbeiten beschäftigt, die Wahrnehmung machen, daß er mit fortschreitender Erfahrung die Zahl der erforderlichen Bohrungen wesentlich einschränken kann.

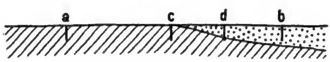
2. Erkennung der Lagerungsverhältnisse: Wo nicht günstig gelegene Aufschlüsse auf den ersten Blick die Lagerungsbeziehungen zweier aneinander angrenzender Schichten erkennen lassen, wird deren Feststellung durch einige Bohrungen zur unabweislichen Notwendigkeit. Einige einfache Beispiele mögen dies zeigen: Findet man auf der in Figur 111 und 112 bezeichneten Beobachtungslinie in den Punkten *a* das volle Profil des

Fig. 111.



Geschiebemergels, in den Punkten *b* dagegen bis zu der Tiefe, zu welcher die Bohrung hinabgeführt wird, im allgemeinen also auf 1—2 m Tiefe, nur Sand, so muß notwendig zwischen den Punkten *a* und *b* eine Grenze verlaufen. In Bezug auf die gegenseitige Lagerung des Geschiebemergels und

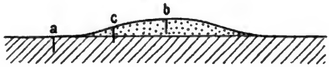
Fig. 112.



des Sandes können aber zwei Fälle eintreten, von denen der eine in Figur 110, der zweite in Figur 111 dargestellt ist. Angenommen, die Punkte *a* und *b* liegen 100 Schritte voneinander entfernt, so wird man sich 50 Schritte rückwärts bewegen und abermals bohren. Im ersten Falle wird die an Punkt *c* ausgeführte Bohrung ebenfalls Sand ergeben und die in der Mitte zwischen *c* und *a*, also 25 Schritte rückwärts bei *d* ausgeführte Bohrung zeigen, daß unter einer, im angenommenen Falle 1—1½ m mächtigen Geschiebemergelschicht, Sand folgt. Daraus würde hervorgehen, daß der

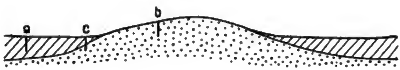
Sand älter ist als der Geschiebemergel. Dagegen würde in dem in Figur 112 dargestellten Falle die bei *c* ausgeführte Bohrung ebenfalls Geschiebelehm geben, weshalb die nächste Bohrung zwischen *c* und *b* bei *d* auszuführen wäre. Wenn dieselbe, wie hier angenommen, unter 1—1½ m Sand den Lehm antrifft, so ist damit der Beweis erbracht, daß die Sandschicht jünger ist als der Lehm. Die beiden Sandschichten würden also entsprechend ihrem gegenüber dem Lehm verschiedenen Alter auf der Karte mit verschiedenen Farben darzustellen sein. — Wir betrachten noch einen zweiten Fall: Wenn aus einer ebenen Geschiebelehmfläche ein kleiner Sandhügel sich heraushebt, so ist in derselben Weise, wie im vorigen Falle, durch nahe

Fig. 113.



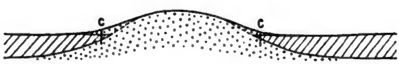
dem ersten Bohrungspunkte ausgeführte Bohrungen festzustellen, ob die Sandkuppe eine Auflagerung auf dem Geschiebelehm darstellt (Fig. 113) oder ob sie eine sogenannte Durchragung bildet (Fig. 114), an welche von allen Seiten her mantelartig der Geschiebelehm sich anlegt. Im ersten Falle wird man in der Zwischenbohrung bei *c* unter dem Sande den Geschiebe-

Fig. 114.



mergel, im zweiten Falle an der in unserem Bilde Figur 114 mit *c* bezeichneten Stelle dagegen unter einer dünnen Schicht von Geschiebemergel oder -lehm den Sand antreffen. Im zweiten Falle ist noch zu berücksichtigen, ob nicht etwa vom Rande der Sandkuppe her durch das Wasser geringe Sandmengen herabgeschwemmt sind, wobei in einer gewissen eng-

Fig. 115.



begrenzten Zone, wie aus Figur 115 ersichtlich, dasselbe Profil erbohrt werden würde, wie in Figur 113. Zur Gewißheit würde diese Vermutung werden, wenn man bei einer Weiterführung der Bohrung *c* in Fig. 115 finden würde, daß unter dünnem Sande eine ebenfalls nur dünne Lehmschicht folgt, unter welcher dann abermals Sand angetroffen wird.

Ganz besondere Beachtung verdienen derartige Möglichkeiten an Steilgehängen, da man sonst leicht dazu kommen kann, Schichten für anstehend zu halten, die nur abgerutschte oder verstürzte Massen am Abhange darstellen, wodurch natürlich ein ganz falsches Bild der geologischen Zusammensetzung und infolgedessen auch eine unrichtige Kartendarstellung erlangt würde.

3. Feststellung des Untergrundes flacher Schichten: Die Anwendung von Bohrungen zu diesem Zwecke ist von vornherein einleuchtend und sie macht sich besonders in den Alluvialgebieten geltend, in denen in sehr vielen Fällen die Schichten der Oberfläche nur eine geringe Mächtigkeit besitzen. In den Überschwemmungsgebieten großer Stromtäler sind auf diese Weise die Lagerungsverhältnisse von Schlicken, Sanden und humosen Bildungen festzustellen. Erlangt ein einzelnes dieser Gebilde eine größere Mächtigkeit, die über weite Flächen sich gleich bleibt, so wird man auf der Karte nur dies eine Gebilde darstellen. Ist aber die Oberflächenschicht von geringer Mächtigkeit, so wird man zu untersuchen haben, welches ihre Unterlage ist, und wird diese in der Kartendarstellung ebenfalls zum Ausdruck bringen. Es muß auch hier wieder dem geologischen Taktgefühl überlassen bleiben, wie weit in dieser Unterscheidung und Abgrenzung des Untergrundes zu gehen ist, und es wird bei der Beurteilung dieser Frage vor allen Dingen der Gesichtspunkt maßgebend sein, ob die unter der obersten Schicht lagernde Bildung in landwirtschaftlicher oder technischer Beziehung von Bedeutung ist. Abbauwürdige Tonlager unter dünnen Sand- oder Torfdecken, als Mergel geeignete Wiesenkalklager unter Torfmooren wird man auch dann in einer geologischen Karte ausdrücken, wenn sie von geringem Umfange sind, während man anderseits bei der Kartierung von solchen Schichten im Untergrunde, die für die Ackerkultur auf der Oberfläche belanglos sind, mit minderer Sorgfalt verfahren kann. Immer wird der Umfang dessen, was man durch Bohrungen zu ermitteln und in der Karte darzustellen hat, von dem Zwecke abhängig sein, der mit der Ausführung der Karte verbunden ist, und von dem Werte, den solche Darstellungen für Landwirtschaft und Technik haben können.

Auch innerhalb diluvialer Bildungen werden häufig Bohrungen ausgeführt werden müssen, die weder für die Abgrenzung der Schichten, noch für die Erkennung von Lagerungsbeziehungen, wohl aber für die Ermittlung von Mächtigkeit und Tiefenlage landwirtschaftlicher Meliorationsmittel von Bedeutung sind. Näheres darüber ist in den Kapiteln über Aufsuchung von Kies-, Ton- und Mergellagern einzusehen.

Kapitel 24.

Schichtgrenzen und andere Konstruktionen.

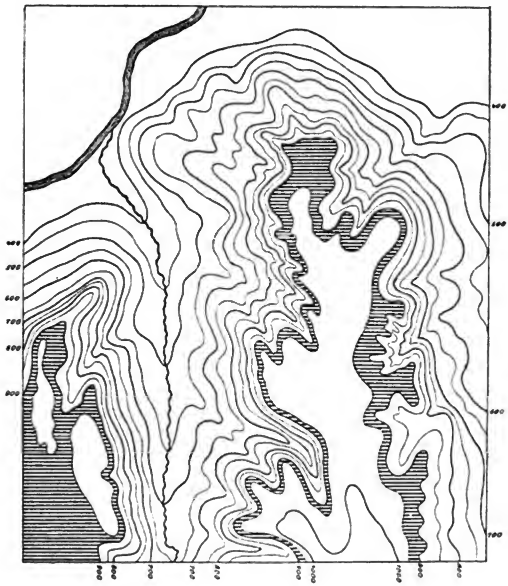
Ist ein größeres oder kleineres Gebiet nach den angegebenen Gesichtspunkten genau untersucht worden und sind möglichst viele Grenzpunkte der einzelnen Schichten ermittelt, die Aufeinanderfolge der Schichten und ihre gegenseitigen Lagerungsbeziehungen durch eine Reihe von Beobachtungen festgestellt worden, so ist es die nächste Aufgabe der Kartierung, diese Grenzpunkte miteinander zu Grenzlinien zu verbinden und dadurch eine Grundlage für die Ausführung des geologischen Kartenbildes in verschiedenen Farben oder Zeichen zu schaffen. Bevor wir uns der Frage zuwenden, in welcher Weise die Verbindung der ermittelten Grenzpunkte zu Grenzlinien so stattzufinden hat, daß daraus ein charakteristisches und verständliches Bild des geologischen Baues einer Gegend resultiert, müssen wir in eine Betrachtung eintreten, nach welchen Gesetzen die geologischen Grenzlinien von Schichten, die ihrem Streichen und Fallen nach bekannt und an einzelnen Punkten in ihrem Ausstreichen beobachtet sind, in ihrem Verlaufe durch das Relief der Oberfläche beeinflußt werden. Da das Bild der Oberfläche in der kartographischen Grundlage, sei es durch Bergschraffuren und Höhenlinien oder nur durch letztere, als gegeben angenommen werden muß, und da ferner durch die Beobachtung von Streichen und Fallen an einem gegebenen festen Punkte im Terrain alle Elemente für eine Feststellung der Grenzebene auf mathematisch-konstruktivem Wege vorhanden sind, so wird es zunächst unsere Aufgabe sein, an einer Reihe von Fällen zu zeigen, in welcher Weise sich aus diesen Faktoren der Verlauf der Grenzlinien theoretisch ableiten läßt.

Wir beginnen mit der einfachsten und ursprünglichsten Lagerung, der schwebenden oder söhligen. Die Grenzflächen einer solchen laufen mit den durch die Höhenlinien ausgedrückten Horizontalebenen parallel, und da die Höhenlinien nichts anderes sind, als die Schnittlinien paralleler, in gleichen Abständen über einander liegender Horizontalebenen mit der Erdoberfläche, so müssen auch die Grenzlinien einer schwebenden Schicht mit den Höhenlinien parallel laufen. In die Karte eingetragen ergibt also der Ausstrich einer horizontalen Schicht von 50 Fuß Mächtigkeit, deren Unterkante bei 900, deren Oberkante bei 950 Fuß ü. M. liegt, das Kartenbild (Fig. 116), in welchem die schraffierte Fläche die Oberflächenverbreitung der angenommenen Schicht angibt.

Der zweite von uns zu betrachtende Fall ist der, daß die Grenzfläche zwar noch eben ist, aber nicht mehr horizontal liegt, sondern unter irgend einem Winkel nach irgend einer Himmelsrichtung hin einfällt. Nehmen

wir eine in nordöstlicher Richtung streichende, unter 20° nach Südosten einfallende Grenzfläche an, so würde dieselbe auf dem Terrainbilde, welches wir allen diesen theoretischen Betrachtungen zu Grunde legen, sich als Grenzlinie zeigen, deren Verlauf durch die punktierte Linie in Figur 117 ausgedrückt wird. Diese Linie würden wir erhalten, wenn wir die Grenz-

Fig. 116.



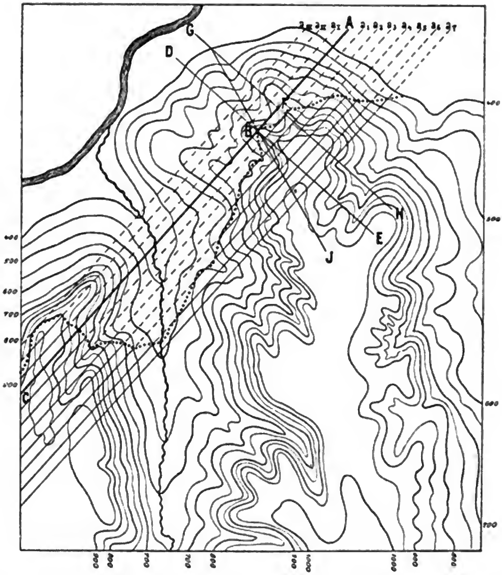
linie an möglichst zahlreichen Punkten beobachten könnten. Da aber, wie wir gesehen haben, in den meisten Fällen diese Beobachtungsmöglichkeit auf einzelne Punkte beschränkt ist, so muß man sich sehr häufig mit k o n s t r u i e r t e n Grenzen behelfen, und wir wollen nun zunächst betrachten, in welcher Weise solche Konstruktionen sich ausführen lassen.

Wir gehen von der Annahme aus, daß eine Schichtfläche auf größere Erstreckung hin als eben anzusehen, daß ihr Streichen und Fallen bekannt ist, und daß wir einen Punkt im Terrain beobachten und in die Karte ein-

getragen haben, an welchem die Grenzfläche die Erdoberfläche schneidet. Wir verfahren dann folgendermaßen:

Durch den Beobachtungspunkt *B* (Fig. 117) ziehen wir eine Linie *ABC* in der Richtung des bekannten Streichens und senkrecht dazu eine zweite Linie *DBE*. Wir ermitteln hierauf, wie viele Höhenlinien in der in Betracht

Fig. 117.



kommenden Umgebung über, wie viele unter dem Beobachtungspunkte liegen. Die größere dieser beiden Zahlen multiplizieren wir mit dem einfachen Abstande der Höhenlinien, greifen auf dem Maßstabe der Karte die so erhaltene Länge mit dem Zirkel ab und tragen sie an *B* in der Richtung auf *A* an. In unserem Falle sehen wir 4 50-Fußlinien über und 8 unter *B*, greifen also eine Länge von 8×50 Fuß ab und tragen sie an *BA* als *BF* an. Hierauf legen wir durch *F* eine Linie *GFH* parallel zu *ED* und ziehen durch *B* eine Linie *GBJ*, die so gelegt wird, daß der Winkel *GBD* gleich dem bekannten Einfallswinkel ist, den wir mit 20° annehmen. Die Linie *GF* teilen wir in

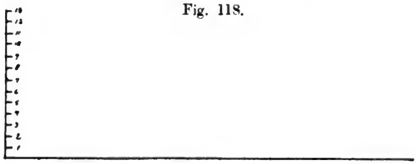
8 gleiche Teile und ziehen durch die Teilpunkte so viel Parallelen zu *ABC*, wie oberhalb *B* noch Höhenlinien in Betracht kommen, also 3. In derselben Weise ziehen wir im gleichen Abstande solche Parallelen zu *ABC* auch durch *BJ*, und zwar mindestens so viele, als unter *B* noch Höhenlinien folgen, also 8[1]). Dann sind die Schnittpunkte der ersten Parallele mit der ersten über *B* folgenden Höhenlinie Grenzpunkte, ebenso die Schnittpunkte der zweiten Parallele mit der zweiten Höhenlinie u. s. w. und zwar sowohl oberhalb, d. h. rechts, als auch unterhalb, d. h. links von *ABC*. Wir erhalten auf diese Weise eine Reihe von Grenzpunkten, deren Verbindung die gesuchte Grenzlinie ergibt.

Zum Verständnis dieser Konstruktion gehört ein gewisses Maß von Kenntnissen in der Projektionslehre. Die Linie *DBE* ist die Vertikalprojektion der senkrecht zum Streichen gerichteten Falllinie unserer Schicht im Punkte *B*.

Die Abstände der einzelnen Teilstriche voneinander auf der Linie *GFH* entsprechen vollständig dem horizontalen Abstande, den die Höhenlinien von 50 Fuß bei einer Böschung von 20° haben.

Da nun den meisten mit Isohypsen ausgeführten Karten ein Böschungsmaßstab beigegeben ist, so kann man sich die Konstruktion der gesuchten Grenzlinie in folgender Weise sehr erleichtern: Man schneidet sich ein recht-

Fig. 118.



winkliges Kartonblatt (Fig. 118) und trägt auf die eine Seite desselben eine Anzahl Male den Böschungsmaßstab für den Winkel des bekannten Einfallens auf und bezeichnet die Punkte mit 1, 2, 3, 4 u. s. f. Dann legt man den anderen Schenkel an die in die Karte eingetragene Streichlinie an und verschiebt vom Beobachtungspunkte aus so weit, bis Punkt 1 mit der ersten, Punkt 2 mit der zweiten folgenden Kurve zum Schnitte kommt u. s. f.

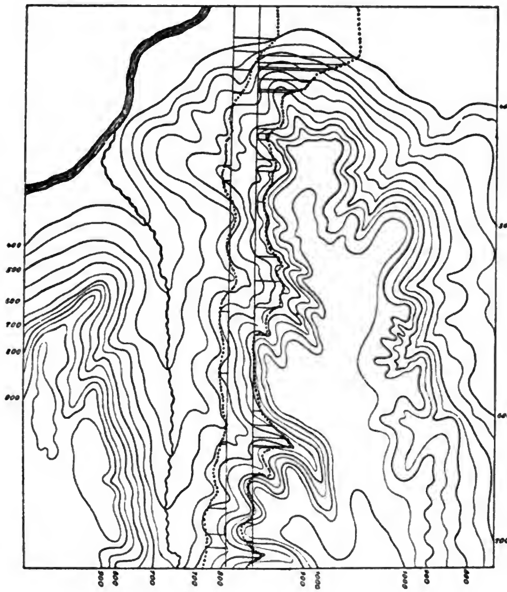
Die Anwendung der Methode ist aus der folgenden Figur 119 zu ersehen, in welcher die beiden punktierten Linien den Verlauf der oberen und unteren Grenze einer nordsüdlich streichenden, unter 20° nach Osten einfallenden Schicht angeben, deren Ausstrich an je einer Stelle als beobachtet gedacht ist; durch diese sind die beiden nordsüdlichen Streichlinien gezogen. Von diesen Punkten geht man nach Norden und Süden mit dem in Figur 118 abgebildeten Hilfsmittel von Kurve zu Kurve vor, trägt im Schnitt

[1]) a^8 ist in Figur 117 vergessen.

mit den aufwärts folgenden Höhenlinien die Grenzpunkte entgegen dem Einfallen, mit den unterhalb der Beobachtungspunkte liegenden dagegen in der Richtung des Einfallens ein, und verbindet schließlich die ermittelten Grenzpunkte zu zwei zusammenhängenden in Fig. 119 punktiert dargestellten Linien.

Wir haben im ersten Beispiele den Fall betrachtet, daß eine geneigte Schicht quer zum Verlaufe des Tales streicht und gegen das Tal hin einfällt.

Fig. 119.

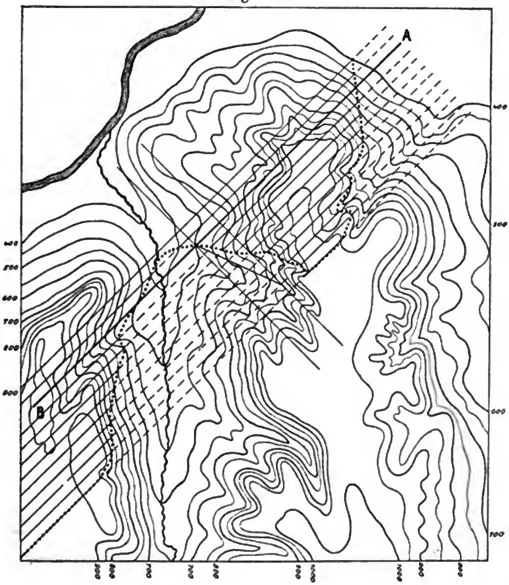


Ganz anders gestaltet sich das Bild, wenn dieselbe Schicht bei gleichem Streichen und gleichem Fallwinkel mit dem Tale fällt. Wir erhalten dann den in Figur 120 wiedergegebenen Verlauf der Grenzlinie.

Um noch ein drittes Beispiel zu bringen, nehmen wir den Fall, daß eine Schicht parallel mit dem Verlauf des einen und rechtwinklig zum Verlaufe des anderen Talstückes streicht. Wir konstruieren uns für diesen Fall die obere und die untere Grenzlinie der Schicht und erhalten für ihre Oberflächenverbreitung das bereits in Figur 119 dargestellte Bild.

Wir wollen nun sehen, in welcher Weise gekrümmte Grenzflächen die Oberfläche schneiden und ermitteln dies in der Weise, daß wir in unsere Höhenlinienkarte nacheinander den Ausstrich einer regelmäßigen und einer schiefen Mulde, sowie eines regelmäßigen und eines schiefen Sattels hineinkonstruieren. Da es sich hier wie in allen übrigen behandelten Fällen um rein konstruktive Aufgaben handelt, so ist allen Beispielen dieselbe topographische Unterlage

Fig. 120.



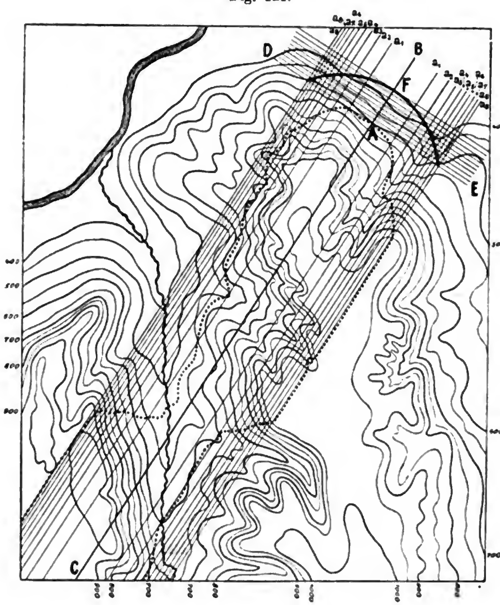
zu Grunde gelegt, obwohl natürlich der geologische Bau eine in jedem Falle andere Entwicklung der Oberflächenformen zur Folge haben würde.

1. Gegeben eine regelmäßige Mulde, deren Achse in nordöstlicher Richtung streicht. Das einzutragende Muldenstück habe eine Höhe von 500 Fuß und eine Breite von 2000 Fuß. Wir nehmen an, daß der Ausstrich des Muldentiefsten gegeben ist. Die Form der Mulde sei durch die starke Linie der Figur 121 gegeben.

Wir tragen durch das gegebene Muldentiefste A in der Streichrichtung eine Linie BAC, ziehen rechtwinklig dazu durch denselben Punkt eine zweite

Linie *DAE* und tragen auf diese den gegebenen Muldenquerschnitt so auf, daß das Muldentiefste in *F* in die Streichlinie fällt. Dann teilen wir die Höhe der Mulde *AF* von *F* aus in Teile von 50 Fuß gleich dem Abstand der Höhenlinien der Karte und ziehen durch diese Teilpunkte Parallelen zu *DAE*. Durch die Schnittpunkte dieser Parallelen mit der gegebenen Mulden-

Fig. 121.

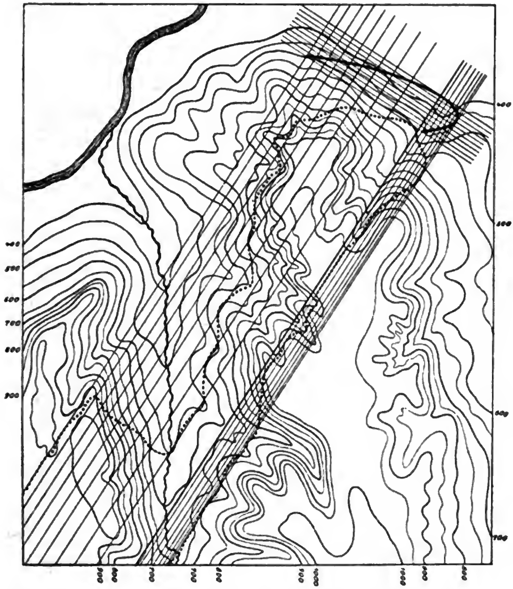


linie ziehen wir ein zweites System von Linien parallel zum Streichen *ABC*, die wir mit a_1, a_2, a_3, a_4 u. s. w. bezeichnen. Dann verläuft der Ausstrich der gegebenen Mulde von *A* aus durch die Schnittpunkte der Linien $a_1\ a_1$ mit der zunächst höheren Höhenlinie, weiter durch die Schnittpunkte von $a_2\ a_2$ mit der zweithöheren, von $a_3\ a_3$ mit der dritthöheren Höhenlinie u. s. f. Indem wir a_1, a_2, a_3 u. s. f. verlängern, erhalten wir zugleich die Grenzen an den Gehängen der weiterhin folgenden Tälchen, indem auch hier die Schnittpunkte der um $n \times 50$ Fuß über *A* liegenden Höhenlinien mit den beiden Linien a_n Punkte dieser Grenze bilden.

2. Gegeben eine schiefe nordöstlich streichende Mulde, deren Querschnitt durch die starke Linie der Figur 122 gegeben sei.

Die Konstruktion ist genau dieselbe, wie im vorigen Falle, nur daß die Abstände der im Streichen liegenden Parallelen infolge der unsymmetrischen Form der Mulde zu beiden Seiten der Mittellinie sehr verschiedenen Ab-

Fig. 122.



stand haben. In den zum überkippten Muldenflügel gehörenden Parallelen ist besonders genau darauf zu achten, zu welcher Höhenstufe jede Parallele gehört und ob eventuell eine und dieselbe Parallele zwei Höhenstufen zugehört, wie z. B. die (von rechts nach links gezählt) vierte unserer Figur.

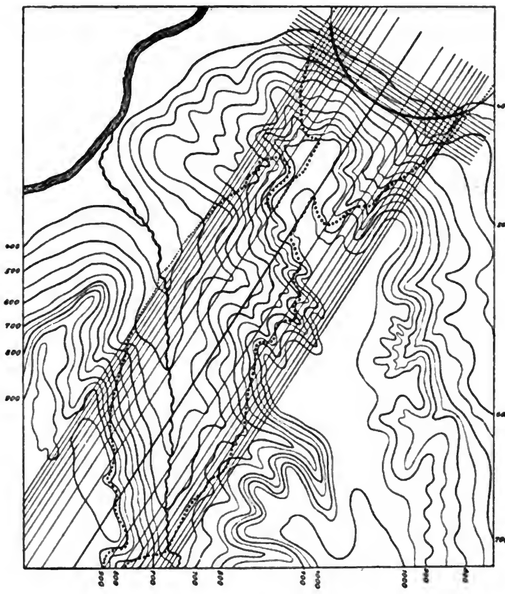
3. Gegeben ein regelmäßiger nordöstlich streichender Sattel von 500 Fuß Höhe und 2000 Fuß Breite (Fig. 123), von dem angenommen wird, daß sein Scheitel (*A* der Figur 121 entsprechend) in die 950-Fußkurve fällt.

Die Konstruktion ist genau dieselbe wie in Figur 121. Da aber der gegebene Punkt hier am höchsten liegt, so sind die Durchschnitte von den

$a_1\,a_1$ der Figur 121 entsprechenden Linien mit der zunächst u n t e r A folgenden Höhenlinie, die von $a_2\,a_2$ mit der zu zweit darunter folgenden u. s. w. die gesuchten Grenzpunkte, durch deren Verbindung ich die einzutragende Grenzlinie erhalte.

4. Gegeben ein schiefer (überkippter) Sattel vom Querschnitte der

Fig. 123.



starken Linie in Figur 124 mit nordöstlich streichender Sattelachse. Lage des Scheitels wie in Figur 123.

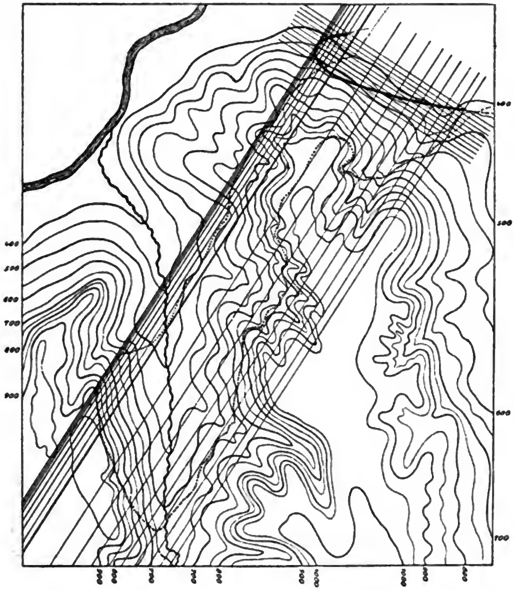
Es ist klar, daß, wie Fall 3 die Umkehrung von Fall 1 darstellte, so diese Aufgabe die Umkehrung von Fall 2 ist. Wir legen genau die gleiche Konstruktion zu Grunde und stellen die Schnittpunkte der a_1, a_2, a_3 . . . Linien mit der ersten, zweiten, dritten . . . Höhenlinie unterhalb A als Grenzpunkt fest, deren Vereinigung die gesuchte geologische Grenze liefert.

Indem wir in allen diesen Fällen die Mulde resp. den Sattel im Streichen durch das ganze Blatt hindurchführen, sehen wir zugleich, in wie verschie-

dener, von der Richtung der Gehänge und dem Neigungswinkel derselben abhängender Weise die Grenzlinien derselben Lagerungsform verlaufen.

Es ist leicht einzusehen, daß alle Krümmungen geologischer Grenzflächen innerhalb größerer oder kleinerer Flächenräume als Teilstücke irgendwie gestalteter Sättel oder Mulden aufgefaßt werden können, und daß wir des-

Fig. 124.



halb nach dem Angeführten in der Lage sind, für alle möglichen gegebenen Zusammenfaltungen ebener horizontaler Grenzflächen die geologische Grenze in einer Höhenlinienkarte zu geben, wenn das Streichen der Faltenachsen bekannt ist.

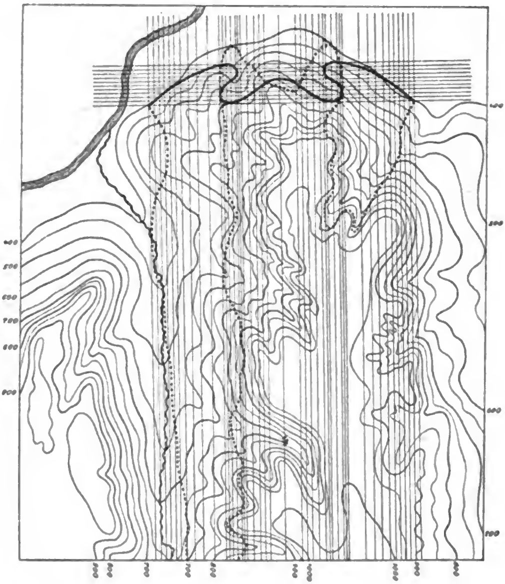
Aufgabe. Das in Figur 125 durch die starke Linie gegebene Faltensystem mit nordsüdlichem Streichen ist nach seinem Grenzausstriche in die Karte zu konstruieren. Figur 125 zeigt die Art der Lösung.

Weniger einfach gestaltet sich die Aufgabe, wenn die Mulden- resp.

Sattelachsen nicht horizontal verlaufen, sondern gegen die Horizontalebene geneigt sind.

Wir beginnen mit der Aufgabe, in der Karte den Ausstrich eines Sattels von gegebenem Querschnitte einzuzeichnen, dessen Achse unter 25° nach Nordosten einfällt. Diese Aufgabe löst man am einfachsten in folgender

Fig. 125.



Weise: Man konstruiert sich eine Linie, die angibt, in welcher Weise der gegebene, unter 25° geneigte Sattel eine Horizontalebene schneidet. Man kommt am schnellsten zum Ziele, wenn man sich aus Kartonpapier ein Stück in der Gestalt des gegebenen Querschnittes ausschneidet (Fig. 127 links) und ferner ein rechtwinkliges Dreieck, dessen einer Winkel 25° beträgt und in welchem parallel zur Hypotenuse in gleichen Abständen Linien gezogen sind (Fig. 126). Stellt man nun auf einem Blatt Papier den Sattel aufrecht und verschiebt an ihm das Dreieck, indem man gleichzeitig die Punkte bezeichnet, in denen die an die Sattelkurve anstoßende Hypotenusen-

Fig. 126.

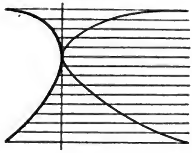
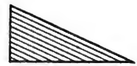
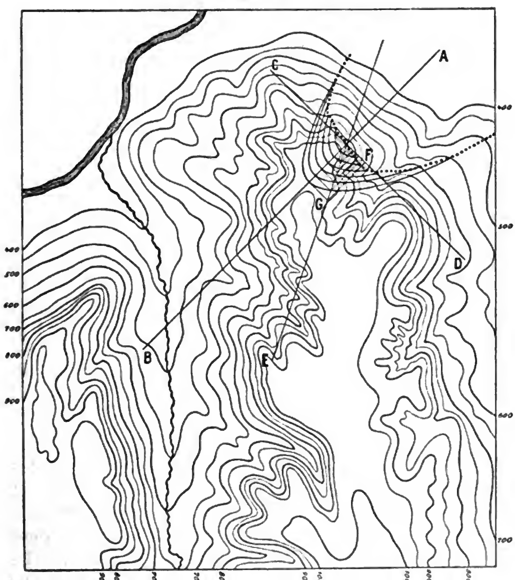


Fig. 127.



parallele die Unterlage schneidet, so erhält man durch Verbindung dieser Punkte die gewünschte Projektion. Auch diese Kurve schneidet man sich maßstäblich aus Kartonpapier aus (Fig. 126 rechts).

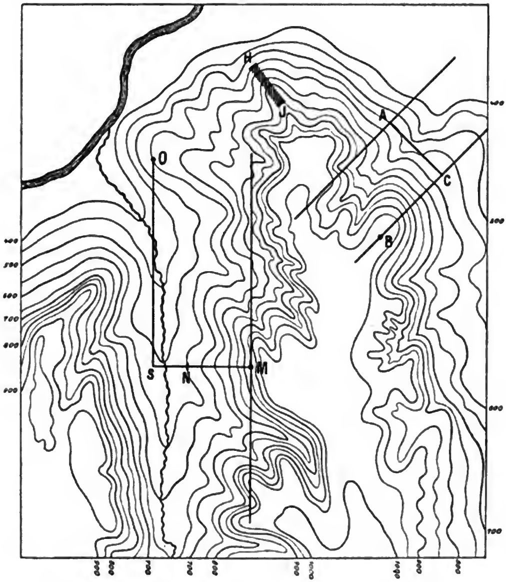
Fig. 128.



Nun zieht man in der Karte durch den gegebenen Beobachtungspunkt *F* eine Linie im Streichen der Achsenprojektion *AB* und trägt durch die Linie *FE* den gegebenen Einfallwinkel von 25° an. Durch *F* zieht man eine

Senkrechte zu AB, nämlich DC, und trägt auf ihr vom gegebenen Beobachtungspunkte F aus den maßstäblichen einfachen Abstand der Höhenlinien in der Richtung auf D eine Anzahl Male ab, zieht durch die Teilpunkte Parallelen zu AB und durch die Schnittpunkte der letzteren mit FE Parallelen zu CD bis zur Linie AB. Dann ergeben die Schnittpunkte die auf die Hori-

Fig. 129.



zontalebene projizierten Punkte, in denen die Achse des Sattels die einzelnen Isohypsenebenen schneidet. Nun legt man das Projektionsbild (Fig. 127 rechts) so in die Konstruktion, daß die Achsen zusammenfallen und der Scheitelpunkt der Projektion nacheinander auf die durch die Konstruktion gewonnenen Punkte der Linie AB zu liegen kommt, wie dies Figur 128 zeigt. Die Durchschnittspunkte der Projektionslinie mit der unter F zunächst folgenden Höhenlinie bei der Lage des Scheitels auf dem ersten, mit der zweiten Höhenlinie auf dem zweiten Punkte u. s. w. geben in ihrer Verbindung die gesuchte Grenzlinie.

Der Wert dieser Konstruktion liegt darin, daß sie für alle Zylinder-

flächen im weiteren Sinne Gültigkeit hat, daß man also den Verlauf überkippter Falten, geknickter Falten u. a. in der gleichen Weise konstruktiv ermitteln kann, nachdem man zuvor die Gestalt des Durchschnittes der betreffenden geneigten Grenzfläche mit einer Horizontalebene ermittelt hat.

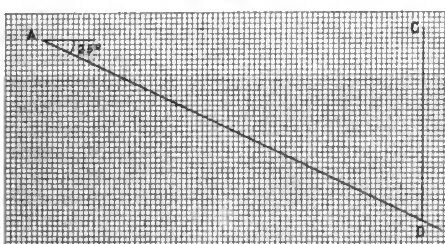
Wir schließen hiermit das Kapitel der Grenzkonstruktionen und besprechen anhangsweise noch einige Aufgaben der praktischen Geologie, die mit der erörterten Gesetzmäßigkeit der Lage von ebenen Grenzflächen im Zusammenhange stehen.

Kennt man Streichen und Fallen einer Schicht und einen Punkt, an welchem diese unter oder über Tage beobachtet ist, seiner Höhenlage nach und soll man bestimmen, wie tief an einer gegebenen Stelle ein Bohrloch niederzubringen oder wie lang ein horizontaler Stollen zu treiben ist, bis er die gesuchte Schicht erreicht, so verfährt man in folgender Weise:

a) Gegeben (Fig. 129 rechts) eine in *A* zu Tage tretende Schicht mit einem Streichen N 45° O und einem östlichen Einfallen von 30°. Wie tief muß ich in *B* bohren, um die Schicht zu treffen?

Ich trage durch *B* die gegebene Streichlinie ein und fälle von *A* aus auf sie ein Lot *AC*. Dann trage ich auf Millimeterpapier die Punkte *A* und *C* in 1 : 1000 nach ihrem Horizontalabstande und nach ihrer aus der Karte ablesbaren Höhendifferenz ein (Fig. 130), ziehe durch *A* eine in der

Fig. 130.

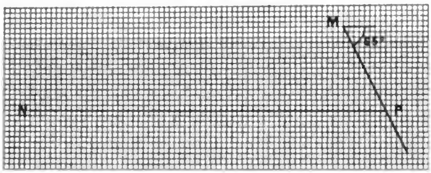


Richtung nach *C* um 30° geneigte Grade *AD* und fälle von *C* aus ein Lot, welches *AD* in *D* schneidet. Die Linie *CD* gibt an, in welcher Tiefe von *C* aus die Schicht erreicht würde. Addiert man dazu die direkt ablesbare Höhendifferenz zwischen *B* und *C*, so hat man die gesuchte Zahl.

b) Gegeben eine in *M* (Fig. 129 links) zu Tage ausgehende, nordsüdlich streichende, unter 65° nach Osten einfallende Schicht. In welcher Entfernung von *O* wird ein in ostwestlicher Richtung angesetzter Stollen die Grenzfläche antreffen?

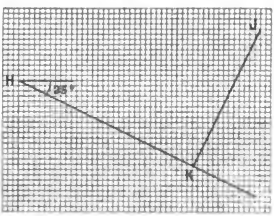
Ich trage durch M die nordsüdliche Streichlinie, errichte in M ein Lot MN bis auf die Höhenlinie, auf der O liegt und von O aus das Lot OS. Dann trage ich wieder die Punkte M und N maßstäblich unter Berücksichtigung ihres Höhenunterschiedes in Millimeterpapier ein, ziehe durch M unter einem Winkel von 65° gegen die Horizontale die Linie MP und durch N die horizontale Linie NP. Die Linie NP, vermehrt um die aus der Karte abzunehmende Länge NS, gibt die gesuchte Stollenlänge.

Fig. 131.



Dieselbe graphische Methode ist vortrefflich geeignet, die Mächtigkeit einer an einem Gehänge ausstreichenden Schicht zu bestimmen. Liegen die Grenzflächen horizontal, so ist die Mächtigkeit gleich der absoluten Höhendifferenz. Sind sie geneigt, so trägt man maßstäblich zwei rechtwinklig zum Streichen übereinander, d. h. also in derselben normalen Profilebene liegende Punkte der oberen und unteren Grenzfläche nach horizontaler und vertikaler Entfernung in Millimeterpapier ein, zieht die Schichtgrenzen unter Berücksichtigung des Einfallens und kann ohne weiteres an einer lotrechten Verbindung beider die wahre Mächtigkeit der Schicht abnehmen.

Fig. 132.



Angenommen, in Figur 129 oben sei in H die untere, in J die obere Grenzfläche einer unter 25° nach Südost einfallenden Schicht festgestellt, so würde die Konstruktion in 1 : 5000 die folgende sein (Fig. 132):

Ich trage die Punkte H und J im Maßstabe 1 : 5000 ihres Längen- und Höhenabstandes in das Millimeterpapier ein, ziehe durch H eine Linie, die die Horizontalebene unter dem gegebenen Winkel von 25° schneidet und fälle auf diese Linie von J aus ein Lot JK. Die Länge dieses Lotes ist gleich dem gesuchten Mächtigkeitsbetrage, wenn ich für je 1 mm seiner Länge 5 m ansetze.

Sehr einfach ist die M a c l a r e n sche Regel zur Feststellung der Mächtigkeit geneigter Schichten, die in ziemlich ebenem Terrain ausstreichen.

Nenne ich die Breite des Ausstriches, rechtwinklig zum Streichen gemessen b, den Einfallwinkel α, die Mächtigkeit m, so ist

$$m = \frac{\alpha \times b}{60}.$$

Die Formel beruht auf der ziemlich regelmäßigen Zunahme der Sinuswerte bis zum Betrage von 45° und ist nur für solche Schichten anwendbar, deren Einfallwinkel diesen Betrag nicht überschreitet.

Für die Bestimmung der wahren Mächtigkeit (a) erbohrter geneigter Schichten, deren Fallwinkel (x) und deren scheinbare Mächtigkeit (T) an Bohrkernen gemessen ist, und zur Bestimmung der Entfernung des Ausgehenden einer Schicht vom Bohrpunkte (b) dient die folgende, dem Geologenkalender entnommene Tabelle:

$T =$		1 m	2 m	3 m	4 m	5 m	6 m	7 m	8 m	9 m
$x = 5°$	a	0,996	1,992	2,989	3,985	4,981	5,977	6,973	7,970	8,966
	b	*11,430*	*22,860*	*34,290*	*45,720*	*57,150*	*68,580*	*80,010*	*91,440*	*102,870*
10°		0,985	1,970	2,954	3,939	4,924	5,909	6,894	7,878	8,863
		5,671	*11,343*	*17,014*	*22,685*	*28,357*	*34,028*	*39,699*	*45,371*	*51,042*
15°		0,966	1,932	2,898	3,864	4,830	5,796	6,761	7,727	8,693
		3,732	*7,464*	*11,196*	*14,928*	*18,660*	*22,392*	*26,124*	*29,856*	*33,588*
20°		0,940	1,879	2,819	3,759	4,698	5,638	6,578	7,518	8,457
		2,747	*5,495*	*8,242*	*10,990*	*13,737*	*16,485*	*19,232*	*21,980*	*24,727*
25°		0,906	1,813	2,719	3,625	4,532	5,438	6,344	7,250	8,157
		2,145	*4,289*	*6,434*	*8,578*	*10,723*	*12,867*	*15,012*	*17,156*	*19,301*
30°		0,866	1,732	2,598	3,464	4,330	5,196	6,062	6,928	7,794
		1,732	*3,464*	*5,196*	*6,928*	*8,660*	*10,392*	*12,124*	*13,856*	*15,588*
35°		0,819	1,638	2,457	3,277	4,096	4,915	5,734	6,553	7,372
		1,428	*2,856*	*4,284*	*5,713*	*7,141*	*8,569*	*9,979*	*11,425*	*12,853*
40°		0,766	1,532	2,298	3,064	3,830	4,596	5,362	6,128	6,894
		1,192	*2,384*	*3,575*	*4,767*	*5,959*	*7,151*	*8,342*	*9,534*	*10,726*
45°		0,707	1,414	2,121	2,828	3,536	4,243	4,950	5,657	6,364
		1,0	*2,0*	*3,0*	*4,0*	*5,0*	*6,0*	*7,0*	*8,0*	*9,0*
50°		0,643	1,286	1,928	2,571	3,214	3,857	4,500	5,142	5,785
		0,839	*1,678*	*2,517*	*3,356*	*4,196*	*5,035*	*5,874*	*6,713*	*7,552*
55°		0,574	1,147	1,721	2,294	2,868	3,441	4,015	4,589	5,162
		0,700	*1,400*	*2,101*	*2,801*	*3,501*	*4,201*	*4,901*	*5,602*	*6,302*
60°		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
		0,577	*1,155*	*1,732*	*2,309*	*2,887*	*3,464*	*4,041*	*4,619*	*5,196*
65°		0,423	0,845	1,268	1,690	2,113	2,536	2,958	3,381	3,804
		0,466	*0,933*	*1,399*	*1,865*	*2,332*	*2,798*	*3,264*	*3,730*	*4,197*
70°		0,342	0,684	1,026	1,368	1,710	2,052	2,394	2,736	3,078
		0,364	*0,728*	*1,092*	*1,456*	*1,820*	*2,184*	*2,548*	*2,912*	*3,276*
75°		0,259	0,518	0,776	1,035	1,294	1,553	1,812	2,071	2,329
		0,268	*0,536*	*0,804*	*1,072*	*1,340*	*1,608*	*1,876*	*2,144*	*2,412*
80°		0,174	0,347	0,521	0,695	0,868	1,042	1,216	1,389	1,563
		0,176	*0,353*	*0,529*	*0,705*	*0,882*	*1,058*	*1,234*	*1,411*	*1,587*
85°		0,087	0,174	0,261	0,349	0,436	0,523	0,610	0,697	0,784
		0,087	*0,175*	*0,262*	*0,350*	*0,437*	*0,525*	*0,612*	*0,700*	*0,787*

Beispiel: Ein scheinbar 124 m mächtiges Sandsteinlager in 215—339 m Tiefe hat bei einem Einfallswinkel von 50° eine wahre Mächtigkeit von . . . . 64,3 m
12,9 „
2,6 „
79,8 m

Die Oberkante des Lagers würde in einem Seitenabstande von *167,8* m
8,4 „
4,2 „
180,4 m vom Bohrloche ausstreichen.

Kapitel 25.

Geologische Grenzen.

Aus den im vorigen Kapitel besprochenen Konstruktionen lassen sich nun eine Reihe von allgemeinen Sätzen ableiten:

1. Wenn man zwei Durchschnittspunkte einer Höhenlinie mit einer Grenzlinie durch eine Grade verbindet, so liegt diese Verbindungslinie im Streichen der Schicht und gibt die Richtung dieses Streichens an.

2. Wenn man durch die nächsthöhere oder tiefere Höhenlinie in gleicher Weise eine Streichlinie zieht, so ist der Parallelismus beider ein Beweis, daß die Grenzfläche eine Ebene ist, während etwaige Konvergenz eine gekrümmte Grenzfläche anzeigt. Ermittelt man im ersteren Falle den Abstand zweier solcher Parallelen, so kann man auf dem Böschungsmaßstabe direkt den Einfallwinkel ablesen.

3. Horizontale Grenzflächen liefern Grenzlinien, die mit den Höhenlinien parallel laufen.

4. Geneigte Grenzflächen laufen den Höhenlinien so lange parallel, als das Streichen beider ein übereinstimmendes ist, schneiden sie aber, sobald es verschieden ist.

5. Wenn geneigte Grenzflächen quer gegen ein Tal verlaufen, so bilden sie in ihm einen Spitzbogen; das Wasser fließt in diesen hinein, wenn das Einfallen mit dem Tale erfolgt und steiler ist, als die Neigung des Talweges; in allen anderen Fällen fließt es dagegen aus dem Bogen heraus.

6. Wenn geneigte Grenzflächen quer über einen Bergrücken verlaufen, so bilden sie auf der Karte Bögen, die nach dem Fuße des Berges hin offen sind, wenn das Einfallen eben dahin gerichtet und steiler als das des Kammes ist; andernfalls sind die Bögen gegen den Berggipfel geöffnet.

7. Vertikale Grenzflächen haben bei jeder Streichrichtung und bei jeder Geländeform auf der Karte einen geradlinigen Verlauf, der mit der Streichrichtung zusammenfällt.

8. Schneidet eine geneigte ebene Grenzfläche einen queren Bergrücken oder Talboden von sich ändernder, erst steiler, dann flacherer Neigung, so entstehen im allgemeinen elliptische Schnittlinien.

Um die Fälle 3—8 nochmals bildlich, schematisch, zu erläutern, sind die beiden Doppelfiguren 133 und 134 konstruiert: ein (unsymmetrisches) Tal und ein Bergrücken ABC, beide nach Westen einfallend und beide mit einem Gefällebruch in B, sind sowohl im Aufriß als im Grundriß mittels Höhenkurven dargestellt; die Aufrisse zeigen im Punkte D ausstreichend in a eine mit dem zugehörigen Stück der Oberflächenprofillinie gleichsinnig, aber steiler, — in e eine ebenfalls gleichsinnig, aber flacher, — in c eine

entgegenfallende, — in *b* eine saiger, — endlich in *d* eine horizontal ausstreichende Grenzfläche mit quer zur Bodenprofillinie *ABC* gerichtetem

Fig. 133.

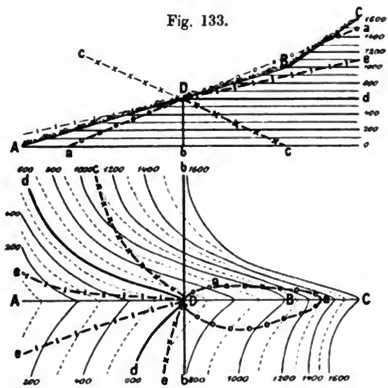
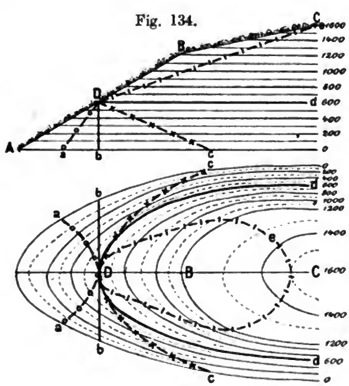


Fig. 134.



Streichen; die Grundrisse stellen jedesmal das zugehörige Kartenbild der Grenzlinie dar.

9. Zwei einander parallele Grenzflächen werden nur dann im Kartenbilde

parallel erscheinende Grenzen liefern, wenn die Höhenlinien auch parallel verlaufen. Eine Ausnahme bilden nur die Grenzen parallel verlaufender, vertikal stehender Flächen, die unter allen Umständen parallel erscheinen. Im übrigen ist aber der Zwischenraum zwischen den beiden Grenzlinien, d. h. die Breite des Ausstriches einer in ihrer Mächtigkeit gleichbleibenden Schicht vollkommen abhängig von der Neigung und Exposition der Oberfläche und von Streichen und Fallen der Schichten, so daß, wie z. B. Figur 116 zeigt, die beiden Grenzlinien einer horizontalen Schicht bald (an steilen Gehängen) dicht nebeneinander liegen, bald (an flachen Gehängen) sich weit voneinander entfernen. Umgekehrt streicht auf einer Oberfläche mit nicht in Betracht kommenden Höhenunterschieden eine Schicht schmal aus, wenn sie steil einfällt, — breit dagegen, wenn ihr Fallen gering ist.

Aus den Konstruktionen des Schnittlinienverlaufes gefalteter, überhaupt gekrümmter Grenzflächen (Fig. 121—125) lassen sich keine solchen allgemeinen Sätze ableiten, da verschiedenartig gekrümmte Flächen auf einem und demselben Gelände mit ganz gleichen Grenzlinien ausstreichen können, wenn das Einfallen der Faltenachse entsprechend verschieden ist, und da umgekehrt Falten gleichen Querschnittes bei verschiedenem Einfallwinkel ganz verschiedenen Grenzverlauf zeigen.

Bei der Verbindung der ermittelten Grenzpunkte zu Grenzlinien hat man sich nach den obigen allgemeinen Regeln zu richten. Es ist unmöglich, in speziellerer Weise darüber Angaben zu machen, und es ist das bei der ungeheuren Mannigfaltigkeit der dem Geologen dabei sich bietenden Aufgaben auch gänzlich zwecklos. Genaues Studium sorgfältig gearbeiteter Karten, eingehender Vergleich von Feld- und Beobachtungskarten geschulter Geologen mit dem endgültigen Kartenbilde wirken sehr viel belehrender, als die umständlichsten beschreibenden Darstellungen. Aus diesem Grunde habe ich in der beigehefteten Tafel an vier Beispielen gezeigt, in welcher Weise aus dem gesammelten Beobachtungsmaterial und aus den gewonnenen Grenzpunkten das fertige Kartenbild sich ergibt. Figur 1 stellt paläozoische Schichten dar, die gangförmig von Eruptivgesteinen durchbrochen sind, Figur 2 deckenförmige Eruptivgesteine, die mit Schichten des mittleren Rotliegenden auf Verwerfungen zusammenstoßen, Figur 3 einen von einer Verwerfung betroffenen teils horizontalen, teils flach gefalteten Komplex triassischer Schichten, und Figur 4 endlich eine diluviale Schichtenfolge am Rande einer Hochfläche, in die ein Tal sich ziemlich tief eingeschnitten hat. Von jeder Doppelkarte enthält die erste die im Felde gemachten Beobachtungen, eingetragen und fixiert durch Buchstabenreihen und Farbenstriche, sowie Angaben über eventuelle Korngröße der Gesteine, Streichen und Fallen der Schichten, Vorkommen von Geschieben, und schließlich, durch kurze Striche markiert, die Lage der ermittelten Grenzpunkte. Im zweiten Kartenstücke fehlen diese Zeichen zum größten Teile, dafür aber sind die

Grenzpunkte zu Grenzlinien verbunden und die gleichen Flächen mit gleichen Farben angelegt worden.

Es geht aus dem bisher Gesagten klar hervor, daß man aus einer sorgfältig aufgenommenen und korrekt gezeichneten geologischen Karte außerordentlich viel herauslesen kann. Wenn man nämlich die oben Seite 190 bis 192 gegebenen Leitsätze umkehrt und mit ihrer Hilfe die Karte sorgfältig studiert, so muß man, selbst wenn keine oder nur wenige Zeichen für Streichen und Fallen in ihr enthalten sind, eine große Menge von Daten über die Tektonik des Gebietes gewinnen können. Man muß erkennen können, ob die Grenzflächen eben oder gekrümmt sind, ob sie horizontal oder geneigt liegen, ob und wo Änderungen im Streichen und Fallen eintreten, ob die Schichten ihre Mächtigkeit gleichmäßig beibehalten, oder nach einer Seite hin ab- oder zunehmen, wie groß die Mächtigkeit ist, ob Faltenwurf vorliegt, wie die Falten streichen, ob Verwerfungen auftreten, ob Überschiebungen vorliegen, welcher Flügel gesunken oder gehoben ist; man muß den Bau der Horste und Gräben, die Lagerungsverhältnisse der Eruptivgesteine, das Fehlen oder Vorhandensein größerer Diskordanzen und Transgressionen und noch viele andere Beobachtungen aus der geologischen Karte in Verbindung mit einer Terraindarstellung durch Höhenlinien ablesen können. Dazu gehört freilich ein intensives Versenken in die Details einer Karte, die Zuhilfenahme profilarischer Konstruktionen, die graphische Ermittlung von Streichlinien u. a., und der Anfänger wird bei solchen Kartenleseversuchen zunächst mit großen Schwierigkeiten zu kämpfen haben. Er lasse sich aber dadurch nicht irre machen: mit der größeren Übung wird auch seine Fähigkeit im Kartenlesen zunehmen und die sichere Erkennung des geologischen Baues einer Gegend aus einer Karte, aus der der Unerfahrene nur petrographische oder Altersunterschiede der Schichten ersieht, wird als Lohn für die aufgewandte Mühe sich endlich einstellen. Anderseits erkennt der geübte Kartenleser aber auch schon aus der Darstellungsart, ob die Karte auf Grund sorgfältiger und eingehender Beobachtungen, oder nur auf Grund weniger flüchtiger Begehungen und schematischer Konstruktionen gezeichnet und demnach, wie zuverlässig oder unverläßlich sie ist.

Es erübrigen noch einige Bemerkungen über bestimmte Arten des Grenzverlaufes. Wenn die obere und untere Grenze einer Schicht sich mehr und mehr nähern und schließlich zusammenfließen, d. h. wenn die Schicht sich auskeilt, so kommt dies im geologischen Kartenbilde zum Ausdruck dadurch, daß die Grenzlinien mit einem Winkel zusammenstoßen, der umso spitzer ist, je allmählicher das Auskeilen erfolgt. In Formationen, in denen linsenförmige, also nach allen Seiten hin rasch sich auskeilende Einlagerungen häufig vorkommen, wie in der Gneisformation vieler Gebiete, oder bei Gipslinsen u. s. w., werden diese Einlagerungen in der Kartendarstellung am

häufigsten durch halbmondförmige oder ähnliche Linien zum Ausdruck gelangen (Fig. 135).

Die Richtung der Spitzen gibt alsdann den Hinweis auf den vermutlichen weiteren Verlauf der betreffenden Schichtfuge und auf solche Stellen, wo man entsprechende linsenförmige Einlagerungen wieder erwarten darf. — Bilden die betreffenden Einlagerungen eine größere stockförmige Masse, so kann diese leicht mit der Oberfläche in einer nicht zugeschärften, sondern allseitig abgerundeten Grenzlinie zum Schnitte kommen. — Jenen linsenförmigen Einlagerungen ähnlich gestaltet, also halbmond- oder paragraphenähnlich sind die Kartenbilder diluvialer Flußterrassen, die sich ja doch auch (gegen den alten Uferrand hin) auskeilen.

Fig. 135.



Es können aber auch in einer Reihe von Fällen Grenzen unter mehr oder minder spitzen Winkeln zusammenstoßen, ohne daß die Schicht sich auskeilte. Das ist der Fall, wenn die Schichtenfolge von einer Verwerfung abgeschnitten oder von einer jüngeren Schicht ungleichförmig überlagert wird. Denn die Ausstrichlinien der Verwerfungs- und Diskordanzflächen sind ja auch nichts anderes als geologische Grenzlinien.

Aus diesen Gründen ist es ungerechtfertigt, an eckigen Grenzverläufen Anstoß zu nehmen, wie man es früher oft getan hat, wo man am liebsten den Grenzen möglichst abgerundete eiförmige Gestalten gab. Aber eben diese unnatürliche Darstellung hatte auch zur Folge, daß man aus solchen alten Karten nichts Sicheres über Lagerung, Mächtigkeit u. s. w., öfter sogar das gerade Gegenteil vom wirklichen Verhalten, herauslesen konnte, z. B. in dem Falle, daß man einen kurzen Eruptivgesteinsgang mit einem eiförmigen Umriß, also in dem ideellen Bilde einer Decke oder eines Lagers, darstellte.

Oft wird es wegen schlechter Aufschlüsse unmöglich sein, gerade das Verschmälern und spitzwinklige Enden einer Schicht durch Beobachtungen tatsächlich festzustellen; man wird aber trotzdem in der Karte keinen abgerundeten, eiförmigen Grenzverlauf darstellen dürfen, wenn das stratigraphische oder tektonische Verhalten die Darstellung von Spitzen und Ecken theoretisch erfordert.

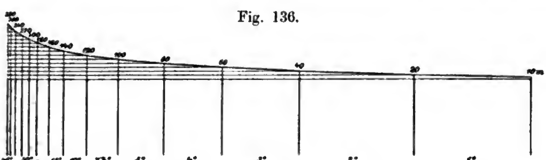
Durch leichtfertige Kartenherstellung, zumeist natürlich auf Grund mangelhafter Beobachtungen, können auch Bilder von unmöglichem Grenzverlauf entstehen. Wenn es z. B. in der zugehörigen Erläuterung heißt, eine gewisse Schicht sei höchstens 15 Fuß mächtig, so können, die Richtigkeit der Höhenkurven vorausgesetzt, die beiden damit parallelen Grenzlinien einer horizontalen Schicht nicht um gar mehrere solcher Kurven

voneinander abstehen, wenn diese auf der betreffenden Karte Intervalle von 25 Fuß angeben. — Wenn es ferner in einer Erläuterung heißt, in der betreffenden Gegend herrsche ungestörte und ganz gewöhnliche Lagerung, so kann es nicht richtig sein, wenn aus der Karte zu entnehmen ist, daß eine und dieselbe Schicht einer gewissen anderen an der einen Stelle aufgelagert ist, an der anderen sie unterteuft (nur bei Eruptivgesteinslagergängen ist das möglich) oder daß die Schichten eines Konglomerats unter ein anderes charakteristisches Gestein einfallen, obwohl angegeben wird, daß sie Gerölle davon enthalten.

Wir haben bereits an mehreren Stellen des Böschungsmaßstabes gedacht und der Art und Weise, wie man mit seiner Hilfe den Verlauf geologischer Grenzen, die Mächtigkeit der Schichten und die Neigungswinkel der Oberfläche feststellen kann. Nicht jede Karte aber enthält einen Böschungsmaßstab; kommt man in die Lage, sich einen solchen selbst anfertigen zu müssen, so kann man dazu zwei verschiedene Wege einschlagen.

1. Man zieht zwei parallele Linien, deren Abstand so groß ist, wie derjenige zweier Höhenlinien der Karte, für die der Maßstab bestimmt ist. Man darf aber die Differenz nicht zu gering nehmen, um die Parallelen nicht zu eng aneinander rücken zu müssen. Man wird also beispielsweise bei Meterkurven den Parallelen einen Abstand von maßstäblich 20, 25 oder 50 m, bei Fußkurven einen solchen von 50 oder 100 Fuß geben. Wählt man beispielsweise 50 m, so erhalten für 1 : 25 000 die beiden Parallelen einen Abstand von 2 mm. An das eine Ende der unteren Parallele trägt man nun mit dem Transporteur die Winkel von $^1/_2$, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 und 45 an, und fällt von den Schnittpunkten dieser Schenkel mit der oberen Parallele Lote auf die untere. Der Abstand dieser Lotpunkte von dem gemeinsamen Scheitel gibt an, um welchen Betrag bei der betreffen-

Fig. 136.



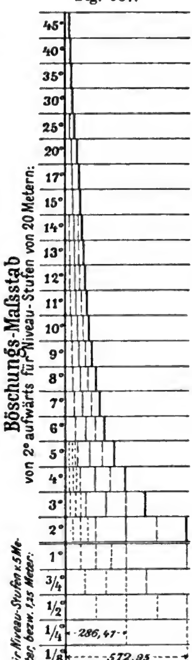
1 : 25000.

den Neigung zwei Isohypsen von 50 m Vertikalabstand in der Horizontalprojektion voneinander entfernt sind. Diese Art und Weise, einen Böschungsmaßstab anzufertigen, ist theoretisch unanfechtbar, leidet aber praktisch an dem Fehler, daß man bei sehr spitzen Winkeln den genauen Schnittpunkt der Schenkel mit der oberen Parallele nicht feststellen kann. Man

verzichtet daher zumeist auf den konstruktiven Weg und gewinnt die Daten für den Böschungsmaßstab rechnerisch.

2. Nennt man den gegebenen vertikalen Abstand der Höhenlinien, für die der Böschungsmaßstab berechnet werden soll, a, den Winkel, für den man den horizontalen Abstand zweier Isohypsen sucht, b, so ist dieser gesuchte Abstand $x = \frac{a}{\operatorname{tg} b}$. Man setzt nun in die Formel nacheinander die oben unter 1 angegebenen Winkelwerte ein und berechnet sich den Abstand der projizierten Isohypsen für die verschiedenen Neigungen mit der Logarithmentafel. Mit diesen Werten zeichnet man nun den Böschungsmaßstab nach einer der in Figur 136 und 137 angegebenen Methoden.

Fig. 137.



Bei Figur 136 bezeichnen die horizontalen Parallelen die Höhenschichten bei einem Abstande von 20 m und die senkrechten Parallelen den rechnerisch ermittelten horizontalen Abstand je zweier solcher Höhenlinien für die verschiedenen von rechts nach links zunehmenden Winkelwerte. Die obere gekrümmte Linie gibt das Profil eines Abhanges, in welchem von unten nach oben die immer steiler werdenden Böschungswinkel zum Ausdrucke gelangen.

Bei Figur 137 dagegen sind die rechnerisch ermittelten Abstände der Isohypsen für die einzelnen Winkel in ein System von gleichweit voneinander entfernten Horizontalen durch je zwei vertikale Parallelen eingetragen. Mit zunehmender Größe dieser Abstände sind in diese Konstruktion noch die Entfernungen der Zwischenkurven eingetragen. So beziehen sich die Abstände der starken Vertikalen auf 20 m; von 25—15° sind die 10 m-Linien eingeschaltet, von 14—6° die 5 m-Linien, von 5—2° auch teilweise die Hilfslinien von $1\frac{1}{4}$ zu $1\frac{1}{4}$ m. Der Böschungsmaßstab für 1° umfaßt nur noch 10, für $\frac{3}{4}$° $7\frac{1}{2}$, für $\frac{1}{2}$° 5, für $\frac{1}{4}$° $2\frac{1}{2}$ und für $\frac{1}{8}$° $1\frac{1}{4}$ m unter Angabe der absoluten Länge für den Abstand der $1\frac{1}{4}$ m-Linien bei $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{8}$°.

Die in Figur 137 dargestellte Methode der Anfertigung des Böschungsmaßstabes scheint mir die praktischste zu sein, da man durch einfache Teilungen ihn an jedes System von Meterkurven anpassen kann. In ganz

entsprechender Weise läßt sich natürlich auch ein allgemein gültiger Böschungsmaßstab für Dezimal- und Duodezimalfußkurven anfertigen.

Wenn man die Neigung eines Gehängestückes wissen will, so greift man den Abstand zweier Höhenlinien in den Zirkel und sucht auf dem Maßstabe die gleich große Entfernung der vertikalen Parallelen, worauf man ohne weiteres den Böschungswinkel ablesen kann.

Daß man mit Hilfe des Böschungsmaßstabes den Einfallwinkel einer Schicht aus einer geologischen Isohypsenkarte ablesen kann, ist S. 190 angeführt.

Kapitel 26.

Die Darstellung technisch nutzbarer Ablagerungen.

Eine besondere Besprechung verdient noch die Darstellung derjenigen technisch nutzbaren Lagerstätten, die Gegenstand des Bergbaus sind. Soweit sie als gleichwertige Glieder einer Schichtenfolge eingelagert sind, werden sie gleich wie diese in ihrem Ausstreichen an der Oberfläche gekennzeichnet, indem bei dünnen Schichten eine einfache farbige Linie, bei stärkeren Lagern oder Flözen ein farbiges Band mit oberer und unterer Begrenzung die Verbreitung angibt. Abweichend aber von der üblichen Darstellung von Sedimentärgesteinen pflegt man auf geologischen Karten auch die unterirdische Verbreitung solcher Lagerstätten, soweit sie durch Bergbaubetrieb oder durch Bohrungen bekannt geworden ist, anzugeben. Man umgrenzt zu dem Zwecke das Gebiet, unter welchem die betreffende Erz-, Kohlen- oder Salzlagerstätte sich befindet und unter dem sie durch Bohrlöcher erreicht werden würde, durch eine einfache Linie. Hat man es mit einer Reihe von übereinander folgenden derartigen Ablagerungen zu tun, wie beispielsweise mit einer größeren Gruppe von Steinkohlen- oder Braunkohlenflözen, so ist es natürlich untunlich, die unterirdische Verbreitung jedes einzelnen Flözes zur Darstellung zu bringen; man verfährt dann in der Weise, daß man diejenigen Flöze, die zu einer geologischen Unterabteilung der betreffenden Formation gehören, in der angegebenen Weise zusammenfaßt und durch eine Linie die Horizontalprojektion ihrer Verbreitung umgrenzt. Auf manchen Karten, beispielsweise im Verbreitungsgebiete des Kupferschieferflözes im Mansfeldschen, wo ein lebhafter Bergbau umgeht, ist außer der Projektion des gesamten Flözes auch diejenige auf eine oder mehrere durch Stollensohlen bezeichnete Ebenen durch Linien dargestellt worden, die in ihrer Ausführung etwas voneinander sich unterscheiden (ausgezogene, punktierte oder gestrichelte Linien).

Gangförmige Erzlagerstätten werden in derselben Weise zur Darstel-

lung gebracht, wie Eruptivgesteinsgänge, also in ihrem Ausstreichen an der Oberfläche, und zwar wird, da die meisten derartigen Vorkommnisse eine geringe Mächtigkeit besitzen, eine einfache Linie in Silbergrau, Goldgelb oder irgend einer anderen Farbe zur Darstellung benutzt, unter gleichzeitiger Bezeichnung der Richtung und der Stärke des Einfallens durch einen beigesetzten Pfeil rechtwinklig zum Streichen und eine beigefügte Zahl, welche angibt, unter wie viel Grad der betreffende Gang gegen die Horizontalebene geneigt ist. Bei vertikal niedersetzenden Gängen kann man diese Zeichen fortlassen, da die Geradlinigkeit des Ausstreichens, die durch keinerlei Formen der Oberfläche beeinflußt wird, diese Lagerungsverhältnisse bereits hinreichend klar darstellt.

Solche Lagerstätten, die in größeren oder kleineren Linsen oder nestförmigen Partien auftreten und in den meisten Fällen durch spätere Ausfüllung vorgebildeter Hohlräume entstanden sind, können, da sie meist unter Tage liegen und an der Oberfläche nicht ausstreichen, nur in der Weise dargestellt werden, daß man ihre, ebenfalls durch Bohrungen oder Bergbaubetrieb bekannt gewordene unterirdische Verbreitung durch Linien bezeichnet, welche so gezogen werden, daß sie die äußersten bekannten Punkte einer vertikal unter ihnen liegenden Lagerstätte umgrenzen. Treten derartige, zur Darstellung geeignete Bildungen nur in geringer Zahl und Flächenausdehnung in dem darzustellenden Gebiete auf, so wird es keine Schwierigkeiten machen, sie zusammen mit der eigentlichen geologischen Karte, also mit der Oberflächenverbreitung der einzelnen Schichten, auf einem Blatte darzustellen; wo aber solche Lagerstätten verschiedener Art in großen Mengen auftreten und die Gefahr vorliegt, daß das geologische Bild dadurch in seiner leichten Erkennbarkeit beeinträchtigt werden könnte, da pflegt man eine gesonderte Darstellung zu wählen; man gibt dann doppelte Karten, von denen die eine nur das geologische Oberflächenbild, die andere nur die unterirdische Verbreitung der darzustellenden Gegenstände des bergbaulichen Betriebs gibt, eventuell unter gleichzeitiger Angabe der geologischen Grenzen des Parallelblattes. Dasselbe ist auch da der Fall, wo — wie in Salz- und Steinkohlengebieten — ein ausgedehnter Bergbau die Lagerungsverhältnisse der Salz- und Kohlenflöze klar erkennen läßt. Auch hier wählt man, wie dies beispielsweise seitens der geologischen Landesanstalt von Preußen in dem Steinkohlengebiete an der Saar gemacht ist, eine Darstellung auf Doppelkarten, indem man auf dem zweiten Blatte in der oben angegebenen Weise die Projektion einzelner Flöze oder Flözgruppen auf die Oberfläche durch verschiedenfarbige Grenzlinien bezeichnet.

Bei Kontaktlagerstätten, d. h. bei solchen, die auf der Grenze zwischen einem Eruptivgestein und dem angrenzenden Nebengestein als Imprägnation des einen oder anderen oder aller beider auftreten, stellt man das Ver-

breitungsgebiet dieser Imprägnation durch eine besondere Signatur der betreffenden Schichten so weit dar, als sie an die Oberfläche tritt und zur direkten Beobachtung gelangt, während die weitere unterirdische Verbreitung solcher Zonen, die also von dem allgemeinen geologischen Bau der betreffenden Gegend abhängig ist, in Profildarstellung näher veranschaulicht wird. Auch kann man in Gebieten, wo flözförmige Lagerstätten ausgebeutet werden, einen Unterschied machen zwischen solchen Flözteilen, die bereits ausgebeutet sind, und denen, die zur Zeit der Aufnahme der Karte noch nicht in Angriff genommen waren, und zwar bedient man sich zu diesem Zwecke am besten zweier verschiedenartiger Systeme von Schraffuren in Schwarz oder in Farben, mit welchen man die betreffenden Flächen, auch wenn darüber jüngere Schichtglieder zur Darstellung gelangt sind, überzieht. Es ist ferner zweckmäßig, durch kleine konventionelle Zeichen, wie sie in der geologischen Zeichenerklärung S. 123—124 angegeben sind, die Lage der Schächte und der Mundlöcher von Stollen darzustellen, und zwar setzt man neben die Schächte das bekannte Zeichen des Bergbaus, gekreuzte Schlägel und Eisen, in aufrechter Stellung, wenn der Schacht noch im Betriebe, — in verkehrter, wenn der Bergbau auflässig ist. In manchen Gebieten auflässigen Bergbaus kann man auch durch Eintragung der Lage von alten Halden und Pingen oftmals noch den Verlauf einer Lagerstätte einigermaßen zum Ausdruck bringen, über deren nähere Verhältnisse keine historischen Nachrichten mehr vorliegen. Die Stollenmundlöcher muß man so eintragen, daß aus der Stellung des Zeichens die Richtung des Stollens zu ersehen ist.

Über die Anfertigung eigentlicher Lagerstättenkarten vgl. Kapitel 36.

Kapitel 27.

Geologische Profile.

Unter einer Profildarstellung versteht man die Projektion geologischer Grenzflächen auf eine vertikale Ebene, also das Bild, welches man erhalten würde, wenn man sich einen senkrechten Schnitt durch einen größeren oder kleineren Teil der Erdoberfläche gelegt denkt. Man hat zu unterscheiden erstens Profile im weiteren Sinne, d. h. Ansichten, die man durch einen in beliebiger Himmelsrichtung gelegten Vertikalschnitt gewinnen würde, und zweitens Profile im eigentlichen Sinne, d. h. solche, die durch einen Schnitt rechtwinklig zur Streichrichtung erzeugt werden. Die letzteren könnte man als normale Profile bezeichnen, während die ersteren nur die Bezeichnung Aufriß oder Ansicht verdienen, aber in sehr vielen Fällen auch ohne weiteres als Profile bezeichnet werden. Es ist dringend anzuraten, bei jeder

profilarischen Darstellung anzugeben, mit welcher von beiden Arten man es zu tun hat, ob ein normales Profil vorliegt, oder im anderen Falle, unter welchem Winkel die Ansichtsebene mit der wahren Profilebene sich schneidet. Aus dem Gesagten geht schon hervor, daß man durch horizontal geschichtete Massen einen normalen Profilschnitt in jeder beliebigen Himmelsrichtung durchlegen kann, durch ein geneigtes Schichtensystem hingegen nur in einer.

Während eine geologische Karte die Verbreitung der Schichten auf der Oberfläche, also im Grundrisse, angibt, hat die graphische Darstellung eines Profils den Zweck, die Übereinanderfolge der Schichten und den natürlichen Verband verschiedener Schichtgruppen in einem Aufrisse zu veranschaulichen.

Man kann die Profile noch nach einem anderen Gesichtspunkte trennen in beobachtete und konstruierte. Unter den ersteren hat man solche Darstellungen zu verstehen, die sich auf eine, in einem Aufschlusse frei zu Tage liegende, in mehr oder weniger senkrechten Wänden sichtbare Partie der Erdkruste beziehen, also der Beobachtung unmittelbar zugänglich sind; während man unter konstruierten Profilen solche Darstellungen begreift, die nur zu einem Teil auf Beobachtung, zum größeren Teile aber auf Konstruktionen beruhen. Während die ersteren gewöhnlich nur eine geringe horizontale Erstreckung darstellen, können die letzteren ausgedehnte Flächenräume veranschaulichen.

Bei einer jeden Profildarstellung ist es notwendig, genau anzugeben, welches ihr Maßstab ist, und ferner, wie das Verhältnis des Höhenmaßstabes zu dem der Länge ist. Es mag hier mit aller Entschiedenheit darauf hingewiesen werden, daß es von größter Bedeutung ist, die Höhe und die Länge in dem Profile in gleichem Maßstabe darzustellen; es werden dadurch einmal anschaulichere Bilder geliefert, da jeder Unterschied im Maßstabe ja ein karikiertes, verzerrtes Bild liefert, und es werden ferner Fehlerquellen vermieden, die leicht zu ganz falschen Konstruktionen und Vorstellungen über Schichtenmächtigkeit und Verband führen können. Stellt es sich aber in besonderen Fällen als notwendig heraus, eine „Überhöhung" vorzunehmen, so ist der Betrag derselben ebenfalls in deutlicher Weise auf der Profilzeichnung anzugeben: z. B. „Länge 1:100000, Höhe 1:25000" oder „Länge 1:100000, Höhe: Länge = 4:1".

Bei der Aufnahme von Gruben und anderen Aufschlüssen bietet im horizontal geschichteten Gebirge jeder Aufschluß ein normales Profil; dagegen ist im geneigten Gebirge ein solches nur dann zu gewinnen, wenn eine Wand des Aufschlusses in der Richtung des Einfallens liegt, während in allen anderen Fällen nur Ansichten zu beobachten sind. Für die Aufnahme eines Aufschlusses ist der Maßstab 1:1000 ein durchaus geeigneter, bei welchem also 1 m der Länge der Wand einem Millimeter der Zeichnung entspricht. Man mißt sich zunächst am Fuße der aufzunehmenden Wand

eine Basis ab, trägt diese, die in den meisten Fällen horizontal liegen wird, maßstäblich auf dem Papiere ein und bezeichnet sich dabei zugleich die Lage aller Punkte, die oberhalb dieser Linie deutliche Anhaltspunkte für die Beobachtung bieten, wie beispielsweise einen Baum, einen Felsen, die Kante eines Gebäudes oder etwas ähnliches. Nach einer der im Kapitel 21 angegebenen Methoden ermittelt man darauf die Höhenlage dieser Fixpunkte über der Basis und gewinnt durch deren Vereinigung die obere Begrenzungslinie des Profils, die in den meisten Fällen mit der Durchschnittslinie der Aufschlußwand mit der ursprünglichen Oberfläche zusammenfällt. Zwischen dieser oberen und unteren Grenzlinie des Profils trägt man hierauf die Schichtenfolge nach ihrer Mächtigkeit und Neigung ein. Gibt man mehrere Seiten eines Aufschlusses in einem Ansichtsprofile, so sind solche Stellen, an denen die Profilfläche eine Knickung macht, durch eine vertikale Linie zu bezeichnen und es ist dabei anzugeben, in welcher Richtung und um welchen Winkelbetrag die Ansichtsebene sich ändert. Selbstverständlich kann ein normales Profil eine derartige Knickung der Ansichtsebene nur dann zeigen, wenn in der Richtung des Profils eine Änderung im Streichen eintritt.

Außer dieser Darstellungsmethode eines Aufschlusses kann man noch eine zweite wählen, bei welcher man die vor einem bestimmten Aufstellungspunkte liegende Wand als Profil zeichnet und die auf einer oder beiden Seiten an sie in anderer Richtung sich anschließenden Wände in perspektivischer Darstellung gibt. Eine solche Darstellung führt aber bereits hinüber zu einem vollständigen landschaftlichen, geologisch illustrierten Bilde und ist auch nicht mehr als eigentliches Profil zu bezeichnen.

Einem geübten Zeichner wird es nicht schwer fallen, nach der Natur ein Profil in seinen richtigen Verhältnissen zur Darstellung zu bringen, einem minder Geübten werden dagegen mechanische Hilfsmittel zur Gewinnung eines korrekten Bildes von Vorteil sein. Als solches kann man einmal die Zeichenkamera benutzen, wobei man das durch ein Prisma auf eine matte Glastafel geworfene Bild auf dieser in den Konturen nachzeichnet und alsdann auf Papier überträgt. Indem man einen Gegenstand von bekannter Länge, einen Stock, Regenschirm oder auch einen Menschen unmittelbar an den Fuß der aufzunehmenden Wand stellt, kann man es dahin bringen, durch geeignete Wahl des Aufstellungspunktes für die Kamera direkt ein Bild in dem gewünschten Maßstabe zu erhalten. Ein zweites weit häufiger angewandtes Hilfsmittel ist der photographische Apparat, mit dessen Hilfe man ohne weiteres ein genaues Bild erhält, welches für die Zeichnung eines Profiles von größtem Nutzen ist. Notwendig ist dabei zweierlei: Die Linse des Apparates muß so beschaffen sein, daß die Ränder des Bildes nicht verzerrt erscheinen, und die Aufnahme selbst muß so ausgeführt werden, daß sie auf eine vertikal stehende Platte erfolgt. Bei

solchen Apparaten, die eine Schrägstellung der Kassette nicht gestatten, würde man, wenn man beispielsweise eine Steinbruchswand vom Grunde des Steinbruchs aus photographiert, den ganzen Apparat schief stellen müssen und alsdann ein durchaus verzerrtes Bild erhalten, in welchem der obere Teil des Aufschlusses bedeutend gegenüber dem unteren verkürzt werden würde; man tut daher, wenn man nur einen solchen Apparat besitzt, gut, wenn irgend möglich sich einen Punkt aufzusuchen, von dem aus man ohne Schiefstellung der Kamera ein Bild in dem gewünschten Umfange gewinnen kann. Mit jeder photographischen Aufnahme eines Aufschlusses muß Hand in Hand eine wenn auch noch so flüchtige Skizzierung der wichtigsten Linien des Aufschlusses erfolgen, damit man bei der späteren Umzeichnung des Profils in der Lage ist, die einzelnen Linien genau vergleichen und wiedererkennen zu können. Noch besser ist es, wenn man Gelegenheit dazu hat, mit einer Kopie des fertigen Bildes sich noch einmal nach dem Aufschlusse zu begeben und mit Blei oder Wasserfarben die etwa noch wünschenswert erscheinenden näheren Angaben in dem Bilde selbst zu machen.

Eine Abart der beobachteten Profile sind die Darstellungen der Ergebnisse von Bohrungen. Da in denselben das Material der gesamten durchbohrten Schichtenreihe zu Tage gefördert wird, im festen Gestein heute fast ausschließlich in Form von Bohrkernen, so kommt man, wenn man bei einer Bohrung zugegen sein oder die vollständige Bohrprobenfolge einsehen kann, in die Lage, die Aufeinanderfolge der Schichten aufs genauste festzustellen, man kann sogar aus der Lage der von Bohrlöchern durchsunkenen Schichtenflächen deutlich erkennen, ob die Bohrung in horizontal gelagertem Gebirge stattgefunden hat oder innerhalb einer geneigten Schichtenfolge. Man kann im letzteren Falle den Winkel dieser Neigung erkennen, und die moderne Bohrtechnik hat mehrere Hilfsmittel, um sogar die Richtung des Einfallens der Schichten im Bohrloche zu bestimmen. Ist diese letztere ziemlich mühsame und umständliche, aber für viele praktische Zwecke äußerst wichtige Untersuchung ausgeführt, so hat man damit alle Elemente, um ein genau rechtwinklig zum Schichtenstreichen liegendes, also normales Profil des Bohrloches zu geben. Man wählt die Darstellungsweise gewöhnlich so, daß man zwischen zwei $^1/_2$—1 cm voneinander entfernten parallelen Vertikallinien die Schichtenfolge nach einem Maßstabe einträgt, dessen Höhe von der Tiefe des Bohrloches abhängig ist. Bei Bohrungen bis zu 500 m Tiefe, und das ist der weitaus größte Teil aller jemals ausgeführten, besitzt das Bohrprofil im Maßstabe 1:2000, bei welchem also eine 2 m mächtige Schicht 1 mm stark erscheint, eine Länge von 25 cm, also eine durchaus nicht übermäßig große Länge. Bei tieferen Bohrungen wird man etwa den Maßstab 1:5000 für die Darstellung zu wählen haben. Auf die eine Seite des Bohrprofils setzt man die Tiefenzahlen für jede einzelne Grenz-

schicht und die petrographische Beschaffenheit des zwischen zwei solchen Grenzen eingeschlossenen Gesteins, auf die andere Seite, wenn dies möglich ist, eine Zusammenfassung der einzelnen Schichten zu Formationen oder Unterabteilungen derselben. Eine etwas stärkere, quer über die Bohrlochdarstellung gezogene horizontale Linie gibt an, an welcher Stelle des Bohrloches das Niveau des Meeresspiegels geschnitten wird, und eine andere derartige Linie bezeichnet die Stelle oder die Stellen, an denen während der Bohrung nennenswerte Wassermengen angetroffen wurden, eventuell mit Zusätzen, die sich auf die Beschaffenheit des Wassers — warm oder kalt, Sole oder reines Wasser — beziehen. Sind in einem und demselben Gebiete eine Anzahl von Bohrungen ausgeführt, so ordne man sie bei der graphischen Darstellung so, daß sie möglichst in der Richtung eines normalen Profils nebeneinander zu liegen kommen, so daß also eine Verbindung der entsprechenden Schichten der einzelnen Bohrungen den Wert eines über die ganze mit Bohrungen besetzte Fläche sich erstreckenden Profils haben würde. Selbstverständlich sind bei einer solchen Darstellung alle Bohrungen so zu orientieren, daß die Ebene des Meeresspiegels alle an der richtigen Stelle schneidet. Ein kleiner Grundriß gebe die gegenseitige Lage der einzelnen Bohrpunkte.

Unter „konstruierten Profilen“ versteht man solche, die in einem Querschnitte den geologischen Bau eines größeren Gebietes darstellen sollen und in der Weise ausgeführt werden, daß man die beobachtete Oberflächenverbreitung der einzelnen Schichten nach der Tiefe zu durch Konstruktionen ergänzt, die sich folgerichtig aus einer Reihe von einzelnen Beobachtungen über den Verband der Schichten an der Oberfläche ableiten lassen. Bei diesen Konstruktionen ist es in hohem Maße erwünscht, daß sie normale Profile darstellen. Sollte indessen der Fall eintreten, daß eine solche Profillinie einmal aus ihrer Lage rechtwinklig zum Streichen in eine solche spitzwinklig oder parallel mit demselben übergeht (was dann der Fall ist, wenn beispielsweise zwei Faltensysteme einander kreuzen), so tut man gut, den im Streichen liegenden Teil, der dann kein Normalprofil mehr ist, durch punktierte Linien von dem übrigen zu unterscheiden. — Ein solches Profil über eine große Strecke hin wird wohl immer dazu dienen, das Verständnis einer geologischen Karte zu erleichtern. Man trägt deshalb die Profillinien auf der Karte ein und bezeichnet sie an ihrem Anfangs- und Endpunkte mit Buchstaben, die mit denen am Anfange und Ende des Profils korrespondieren. Man tut ferner gut, für Karte und Profil einen einheitlichen Maßstab zu wählen, damit man beide unmittelbar miteinander vergleichen kann. Der Maßstab der Meßtischblätter 1:25000 ist für die profilarische Darstellung noch hinreichend, wenn auch darin eine Schichtenmächtigkeit von 25 m sich erst als 1 mm darstellt. Bei der Konstruktion eines solchen Profils verfährt man in folgender Weise: Auf sogenanntes

Millimeterpapier (siehe Fig. 130), welches mit einem Quadratnetz von Linien im Abstande von je 1 mm überzogen ist, trägt man sich eine horizontale Linie ein und bezeichnet sie als Linie des Meeresspiegels; dann legt man den Rand eines gerade abgeschnittenen Papierstreifens auf der Karte auf die eingetragene Profillinie, trägt sich darauf mit kurzen Bleistiftstrichen die Schnittpunkte der Profillinie mit den Isohypsen der Karte ein, notiert bei jedem dieser Schnittpunkte die Höhenlage der betreffenden Isohypse und überträgt alsdann diese Punkte auf das Meeresniveau des Millimeterpapieres, errichtet in ihnen Lote und macht diese gleich der Höhe der zugehörigen Isohypse über dem Meeresspiegel. Verbindet man nun die so gewonnenen Lotendpunkte, so erhält man ein maßstäbliches Bild von der Gestalt der Erdoberfläche über der Profillinie. Mit einem zweiten Papierstreifen trägt man nun in derselben Weise die Schnittpunkte geologischer Grenzen mit der Profillinie auf das zu zeichnende Profil über; zugleich verwertet man dabei die an den einzelnen Stellen bezüglich der horizontalen Lage oder des Einfallens der Schichten gemachten Beobachtungen und läßt in der Darstellung die betreffenden Schichten unter den entsprechenden Winkeln die Erdoberfläche schneiden. Diese auf Beobachtung beruhenden Grenzlinien zeichnet man in dem der Erdoberfläche zunächstliegenden Teile des Profils mit vollen Linien aus; ist man in der Lage, irgendwelche bestimmte Schlußfolgerungen über den Schichtenverband in größerer Tiefe unter der Oberfläche machen zu können, so drückt man dies gleichfalls in dem Profil aus, unterscheidet aber diesen Teil von dem beobachteten dadurch, daß man den gemutmaßten Verlauf der Grenzlinien durch punktierte Linien wiedergibt.

Wenn Schichten von 25 m Mächtigkeit nur 1 mm stark im Profil erscheinen dürfen, so ist es klar, daß man bei der Auswahl des im Profil Darzustellenden sich einzuschränken hat, und daß es in vielen Fällen nicht möglich ist, kleinere Einlagerungen, die auf der Karte in gleichem Maßstabe noch recht gut zum Ausdruck zu bringen sind, im Profil richtig zu geben. Sind sie unwichtig, so tut man gut, sie ganz und gar fortzulassen; sind sie dagegen aus irgendwelchem Grunde für die Erkenntnis des Schichtenbaus oder für die Technik von Bedeutung, so müssen sie auf Kosten der angrenzenden Schichten mit einiger Übertreibung dargestellt werden. Indessen wird man im letzteren Falle wohl im allgemeinen eine Vergrößerung des Maßstabes für Höhe und Länge, also auf etwa 1:5000, vorziehen, da die Anwendung eines gleichen Maßstabes für alle Bildungen immer von außerordentlichem Werte sein wird. Zum Zwecke der Reproduktion zeichnet man die so gewonnene Profilzeichnung um und läßt dabei das Koordinatensystem der Millimeterhilfslinien ausfallen.

Wenn Schichten sehr flach einfallen, so kann eine maßstäbliche Profildarstellung leicht dahin führen, dieses Einfallen gar nicht zu erkennen.

Man hilft sich in diesem Falle damit, daß man parallel zu der im Meeresniveau liegenden Linie eine Anzahl von Parallelen zieht, die in der Natur etwa von 100 zu 100 oder von 50 zu 50 m, also bei 1:25000 in einem Abstande von 4 resp. 2 mm einander folgen. Sind solche Linien in einem Profil gezogen, so gestatten sie mit Leichtigkeit die Erkenntnis auch eines schwachen Einfallens.

Wenn in einem Profil eine lange Strecke mit horizontaler Lagerung der Schichten sich befindet, in welcher nicht die geringste Änderung vor sich geht, so kann man, um dem Profile keine zu große Länge geben zu müssen, den größten Teil dieser Strecke ausfallen lassen und das Profil zusammenrücken; man bezeichnet dann durch zwei vertikale Linien die Stellen, an denen das Profil abgeschnitten ist und setzt in die Lücke zwischen beiden eine Zahl hinein, die in Metern oder Kilometern die Länge der ausgefallenen Strecke angibt.

In manchen Fällen läßt es sich nicht vermeiden, ein Profil mit schwacher Überhöhung zu geben. Es ist dies vor allen Dingen dann der Fall, wenn es sich darum handelt, Oberflächenformen in wenig bewegten Gebieten zum Ausdruck zu bringen, wie beispielsweise die meilenbreiten Täler des norddeutschen Flachlandes mit ihren oft nur 15—20 m hohen Talrändern. Hier würde ein Profil von mehreren Dezimetern Länge die Oberfläche als eine fast gerade Linie geben, in welcher das in der Natur so vorzüglich ausgeprägte Tal als eine flache, kaum sichtbare Einsenkung von weniger als 1 mm zum Ausdruck gelangen würde. Hier ist also, wenn man das Phänomen überhaupt kenntlich machen will, eine Übertreibung des Höhenmaßstabes direkt geboten; aber es muß bei einem solchen Profil, an in die Augen fallender Stelle, das Maß dieser Überhöhung, also das Mißverhältnis zwischen Höhe und Länge deutlich in der oben Seite 200 angegebenen Art und Weise zum Ausdruck gebracht werden.

Wer aus irgend einem Grunde ein Profil, welches durch geneigte Schichten geht, überhöht darstellt, muß mit großer Sorgfalt darauf achten, daß er neben der Vergrößerung der vertikalen Dimension auch die Winkel entsprechend erhöht. Selbstverständlich darf dabei die Gradzahl des Winkels, etwa bei Verdoppelung der Höhe, nicht auch verdoppelt werden; vielmehr nimmt die Größe des Winkels zu mit der Tangensfunktion.

In welcher Weise bei den verschiedenen Graden der Überhöhung die Winkel des Schichteneinfallens zu ändern sind, zeigt die Tabelle Seite 207.

Beim Studium der durch den Bergbau gebotenen gegenwärtigen und früheren Aufschlüsse über die Lagerungsverhältnisse erhält man oftmals alte Grubenrisse in die Hand, in denen als Maß irgend eine uns heute fremd gewordene Längeneinheit dient. Um das Verständnis solcher alten Risse zu erleichtern, gebe ich auf Seite 206 in tabellarischer Form eine Zusammenstellung älterer bergbaulicher Maße in ihren Beziehungen zum Metersystem.

Reduktionstabelle der gebräuchlichsten, insbesondere auf bergbaulichen Rissen benutzten Längenmaße.

Es sind 100	Meter	100 m sind	Es sind 100	Meter	100 m sind
Preußische Lachter	209,2	47,8	Wiener Klafter	189,7	52,6
Sächsische neue Lachter	200,0	50,0	Böhmische Klafter	177,82	56,4
Sächsische alte Lachter	197,7	50,6	Württemberg. Klafter	202,8	49,4
Freiberger Lachter	194,3	51,4	Salzburger Stabl	119,2	83,9
Hannoversche, Braunschweigische, Klausthaler Lachter	191,9	52,1	Preußische Ruten	376,62	26,55
			Badische Ruten	300,0	33,3
			Braunschweig. Ruten	456,6	21,9
Harzgeröder Lachter	204,0	49,02	Schweizer Ruten	300,0	33,3
Eislebener Lachter	201,1	49,7	Preußische, Dänische Faden	188,3	53,1
Alte Schlesische Lachter	192,0	52,08			
Schaumburg-Lippische Lachter	203,1	49,2	Schwedische Faden	178,1	56,4
			Holländische Faden	188,4	53,1
Schwarzburg-Rudolstädter Lachter	206,9	48,3	Englische Faden	182,8	54,6
			Französische Faden	162,4	61,5
Badische neue Bergwerkslachter	300,0	33,3	Spanische Faden	167,2	59,8
			Portugiesische Faden	177,7	56,3
Bayrische, Pfalz-Zweibrückische Lachter	194,2	51,5	Preußische Dezimalfuß	37,662	265,52
Pfälzer Lachter	212,7	47,0	Rheinländische, Preußische, Dänische Fuß	31,385	318,7
Württemberg. Lachter	202,0	49,4	Badische, Schweizer Fuß	30,00	333,3
Idrianische Lachter	191,8	52,1	Bayerische Fuß	29,2	342,5
Schemnitzer Lachter	202,2	49,5	Sächsische Fuß	28,3	353,3
Joachimsthaler Lachter	191,8	52,1	Württembergische Fuß	28,6	349,6
Kitzbühler Lachter	178,7	55,9			
Polnische Lachter	201,6	49,6	Hannoversche oder Kalenberger Fuß	29,209	342,5
Russische Lachter	213,5	46,8			
Schwedische Lachter	178,1	56,3	Hannoversche Salzwerksfuß	25,611	390,6
Dänische Lachter	201,1	49,7	Österreichische Fuß	31,6	316,4
Englische Lachter	182,9	54,6	Pariser Fuß	32,484	307,9
Sächsische Bergellen	57,14	175,0	Englische Fuß	30,479	328,1
Klafter	200,0	50,0			

Es wird ein Winkel von	Bei Überhöhung auf das			
	Doppelte	Dreifache	Vierfache	Fünffache
5°	9° 55′	14° 45′	19° 15′	23° 30′
10°	19° 20′	29° 45′	35°	41° 30′
15°	28° 15′	38° 45′	47°	53° 15′
20°	37° 10′	47° 30′	55° 30′	61° 15′
25°	43°	54° 30′	61° 45′	66° 45′
30°	50°	60°	66° 30′	71°
35°	54° 30′	64° 45′	70° 20′	74° 10′
40°	59° 15′	68° 30′	72° 30′	76° 40′
45°	63° 30′	71° 45′	76°	78° 45′
50°	67° 15′	74° 30′	78° 10′	80° 45′
55°	70° 45′	76° 45′	80°	82°
60°	73° 45′	79°	81° 45′	83° 25′
65°	76° 45′	81° 10′	83° 20′	84° 40′
70°	80°	83° 5′	84° 50′	85° 50′
75°	82° 30′	85°	86° 10′	86° 55′
80°	85°	86° 40′	87° 30′	88°
85°	87° 30′	88° 20′	88° 45′	89°

Kapitel 28.

Die weitere Behandlung der Feldblätter.

Bevor ich den Abschnitt über geologische Kartenaufnahmen und über alle mit graphischen Darstellungen verbundenen Untersuchungsarbeiten im Freien schließe, muß ich noch mit einigen Worten auf die Behandlung der im Felde gewonnenen Karten, Zeichnungen, Profile, Skizzen u. s. w. hinweisen. Da naturgemäß bei der Arbeit draußen nur Blei- und Buntstift zu den Eintragungen benutzt werden können, die so gewonnenen Notizen und Linien aber sich sehr leicht bei fortgesetztem Gebrauche der betreffenden Karte oder des Skizzenbuches verwischen würden, so ist es nötig, die gesammelten Daten etwas dauerhafter zu fixieren. Zu diesem Zwecke zieht man, und zwar am besten an jedem Tage nach Schluß der Arbeit oder am Morgen vor Beginn der neuen Arbeiten, die sämtlichen mit Bleistift gezeichneten Linien, Buchstaben oder kurzen Notizen mit unverwaschbarer Ausziehtusche nach. Es muß dem Geschmacke jedes einzelnen

überlassen bleiben, welche Farben er dazu nimmt, doch scheint sich die dunkelblaue am besten dazu zu eignen, da die so gezogenen Linien sich durch ihre Farbe bereits von den Höhenlinien der topographischen Unterlage besser abheben, als solche mit schwarzer Farbe. Auch tut man gut, die im Felde bereits flüchtig mit Buntstiftfarben angelegten Flächen noch einmal mit etwas mehr Sorgfalt mit den gleichen Farben zu verstärken, um so einem etwaigen Verwischen und Undeutlichwerden besser vorzubeugen. In derselben Weise verfährt man mit den Profilen, die man etwa aufgenommen hat, indem man sie sorgfältig nachzeichnet, die ermittelten Dimensionen für die Länge und Schichtenmächtigkeit einträgt und die flüchtigen Bleistiftnotizen zu einer etwas ausführlicheren Darstellung umarbeitet, so daß für das Gedächtnis möglichst wenig Belastung übrig bleibt. Auch tut man gut, am Rande des Kartenblattes mit kleinen, bunten Farbenflecken eine vorläufige Farbenerklärung anzulegen, damit Verwechslungen und Irrtümer auch dann tunlichst ausgeschlossen sind, wenn etwa die weitere Bearbeitung und Vollendung eines solchen Blattes aus irgendwelchen Gründen von einem anderen als dem zuerst Aufnehmenden ausgeführt werden muß.

Sind die Karten für spätere Veröffentlichung eines selbständigen Kartenwerkes oder als Beigabe zu einer wissenschaftlichen Spezialarbeit bestimmt, so müssen sie für den Druck vorgerichtet werden. Sie sind zu diesem Zwecke auf eine reine topographische Unterlage umzuzeichnen und mit kräftigen, sich scharf voneinander abhebenden Farben, Schraffierungen, Punktierungen u. s. w. auszuführen. Die dazu gehörige Farbenerklärung muß die sämtlichen auf der Karte vorkommenden Bildungen umfassen und für jede derselben ein besonderes Farbenschild geben. Bei der Anordnung der Farbenschilder beginnt man mit den Sedimentärgesteinen, indem man mit den ältesten anfängt und mit den jüngsten endigt, läßt dann die etwaigen Eruptivgesteine nach ihrem Alter in natürlichen Gruppen folgen und schließt vorkommendenfalls mit einer Erklärung etwa angewandter Zeichen. Dahin gehören die benutzten Zeichen für Verwerfungen, für Erzgänge, für Quellen, abgestürzte Massen, Grubenhalden, Grubenabraum, Bruchgebiete (in Gegenden, wo Braunkohlen im Bruchbau abgebaut werden), Ausfüllungen alter Gruben, das Vorkommen großer Blöcke, die Verbreitung von Gletschern und Firnfeldern, für das Vorkommen der verschiedenen Arten von Versteinerungen, für im Betrieb befindliche und auflässige Bergwerke und andere Dinge. Am Schlusse von Kapitel 16 ist bereits eine Zusammenstellung zahlreicher derartiger Zeichen und Abkürzungen gegeben.

Kapitel 29.

Das Sammeln von Gesteinen.

Über das Sammeln und die weitere Behandlung von Versteinerungen folgen in dem letzten Teile dieses Werkes ausführliche Mitteilungen. An dieser Stelle sei über die Grundsätze beim Sammeln von Gesteinen folgendes angeführt:

Die äußere Schönheit der zu sammelnden Gesteinsstücke kann nur dann Berücksichtigung finden, wenn der Sammler sich längere Zeit in einem und demselben Gebiete aufhält. Ist er aber auf Reisen, muß er rasch vorwärts eilen, so wird er sich oftmals begnügen müssen, eine kleine, vorspringende Ecke von einem Felsen am Wege abzuschlagen und mitzunehmen. Aber selbst bei einer derartigen Sammelmethode sind drei Grundsätze festzuhalten, ohne deren genaue Befolgung das gesammelte Material mehr oder weniger wertlos sein würde: 1. Die Gesteinsstücke sind vom anstehenden Gestein abzuschlagen, nicht von losen Blöcken, mögen diese auch noch so bedeutende Größe besitzen. Die Möglichkeit, daß sie als Geschiebe von weit her an ihren heutigen Ort gelangt sein können, liegt immer vor und könnte leicht zu falschen Schlüssen Veranlassung geben. Diese erste Regel entfällt selbstverständlich in dem Falle, daß es sich um Aufsammlung von Gesteinen aus Moränenbildungen handelt, zum Zwecke der Bestimmung des vom Gletscher zurückgelegten Weges. In solchem Falle kann natürlich nur von losen Blöcken gesammelt werden. Die Regel entfällt ferner, wenn man die Herkunft der losen Blöcke kennt und diese ein frischeres Gestein darbieten, als man es vom Anstehenden erlangen kann. 2. Die abgeschlagenen Gesteinsstücke müssen wenigstens eine frische Bruchfläche besitzen, die dem Sammler die Überzeugung verschafft, es mit frischem Gestein zu tun zu haben. Verwittertes Gestein sammelt man dann, wenn es sich darum handelt, die Vorgänge bei der Verwitterung eines Gesteins zu studieren. 3. Jedes Stück muß sogleich mit einer kurzen Fundortsbezeichnung in klarer, nicht mißzuverstehender Weise versehen werden. Entweder legt man dem Stücke direkt eine Etikette bei, oder man notiert den Fundort auf dem Rande des zum Einwickeln bestimmten Papiers, den man zu besserem Schutze mehrmals umschlägt, oder man klebt einen kleinen Zettel mit gutem Gummi auf das Stück, schreibt eine Nummer darauf und notiert unter derselben Nummer im Notizbuche das Erforderliche. Die größte Sicherheit gegen Verwechslungen hat man natürlich, wenn man die zuletzt genannte Methode mit einer der beiden ersten verbindet. Auch empfiehlt es sich, durch ein Zeichen (etwa !) die Stellen auf der Karte zu bezeichnen, wo Gesteinsproben entnommen sind.

Hat man die nötige Zeit zur Verfügung, so soll man auf ein schönes Äußere der gesammelten Gesteinsstücke Gewicht legen. Das Stück muß ein regelmäßiges, rechteckiges Format besitzen, ein sogenanntes „Handstück“ sein. Die Maße dieser rechteckigen Stücke betragen gewöhnlich in der Länge 10—12, in der Breite 6—9, in der Dicke 2—3 cm. Ferner gehört nach der gewöhnlichen Meinung zu einem vollkommenen Handstücke, daß es auf allen Seiten frischen Bruch besitzt, also nicht von Kluftflächen begrenzt wird, die ja gewöhnlich mit einer Verwitterungsrinde bedeckt sind. Die Schwierigkeiten, die die einzelnen Gesteine dem Formatisieren entgegensetzen, sind sehr verschieden. Manche Gesteine lassen sich außerordentlich leicht in Handstücksform bringen, andere bereiten durch ihre Zähigkeit oder durch die große Zahl von Klüften viele Schwierigkeiten; bei manchen Gesteinen letzterer Art wird das Formatgeben direkt zur Unmöglichkeit. Die geringste Mühe, gute Handstücke zu erlangen, hat man da, wo ein Gestein im Steinbruchsbetrieb gewonnen wird; hier finden sich gewöhnlich Schlag- oder Sprengstücke von geeigneter Stärke und mit frischen Bruchflächen in hinreichender Menge. Auch da, wo ein Gestein in steilen Klippen ansteht, kann man gewöhnlich mit einem schwereren Hammer ein größeres Stück abschlagen und mit leichterem Hammer weiter formatisieren. Zur Unmöglichkeit wird dies aber da, wo das Gestein nur in sanft abgerundeten Formen zu Tage ansteht oder nur in großen, runden Blöcken die Oberfläche bedeckt. In solchem Falle bleibt, wenn man gute Stücke haben will, kaum etwas anderes übrig, als ein Bohrloch setzen und ein größeres Stück mit Pulver absprengen zu lassen. Beim Schlagen der Handstücke ist es sehr vorteilhaft, einen Hammer zu haben mit ziemlich scharfer, 30—40° besitzender Schneide, die rechtwinklig zum Stiele verläuft. Die Kunst, die richtigen Schläge zu tun, unter denen das Gestein sich zum vorschriftsmäßigen Handstücke bildet, muß durch Übung gelernt werden, und jedes Gestein verlangt besondere Kunstgriffe. Zuweilen wird man dabei Beobachtungen über gewisse Richtungen leichterer Spaltbarkeit (versteckte Schieferung u. s. w.) machen, die einem sonst entgangen wären.

Was von Gesteinen zu sammeln ist, hängt ganz davon ab, welcher Zweck damit verbunden wird. Handelt es sich um Erlangung vollständiger petrographischer Suiten für ein Gebiet, so ist auf mancherlei zu achten. Bei Eruptivgesteinsgängen sammle man aus der Mitte, von den Sahlbändern und vom Kontakt mit dem Nebengestein. Ändert sich die Struktur und das Aussehen von der Mitte nach den Seiten in auffälliger Weise, so hat man den Übergang durch zahlreiche Stücke zu belegen. Bei deckenförmigen Eruptivgesteinen sammle man ebenfalls aus dem Innern und von der Ober- und Unterseite des Ergusses, besonders, wenn schon das bloße Auge Unterschiede dieser Teile wahrnimmt. Bei Tiefengesteinen vom Typus des Granits sammle man außer dem Hauptgestein besondere petrographische Differen-

zierungen, wie sie in den Schlieren und in besonderen magmatischen Ausscheidungen sich finden. Ist das an das Eruptivgestein angrenzende Sediment kontaktmetamorphisch umgewandelt, so sind die unterscheidbaren Phasen des Metamorphismus durch Handstücke zu belegen. Bei geschichteten Gesteinen wird jeder Wechsel des Gesteinscharakters nach der Seite oder nach dem Hangenden oder Liegenden hin eine Aufforderung zur Entnahme einer Gesteinsprobe einschließen.

Das Gewinnen von Handstücken wird da natürlich nicht in Frage kommen, wo es sich darum handelt, Belegstücke für Verwitterungs-, Struktur-, Absonderungserscheinungen, Eigentümlichkeiten der Schichtung und der Schichtflächen und derartiges zu sammeln. Dann muß man solche Stücke wählen, die die betreffende Erscheinung schön und deutlich zeigen, und braucht sich um das Format nicht zu kümmern.

Von großem Interesse ist es, in Handstücken oder wenigstens in nicht allzu großen Stücken Erscheinungen der dynamischen Geologie verkörpert zu sehen. Man kann die Erscheinungen der Faltung, Knickung, Zerreißung, Verwerfung, Überschiebung, Flexur, das Auskeilen und Aussetzen von Gängen, die besondere Ausbildung der Sahlbandgesteine und vieles andere in so kleinem Maßstab in der Natur beobachten, daß es möglich wird, eine Handstückssammlung davon anzulegen.

Lose Gesteine, Erden, Verwitterungsgrus u. a. sammelt man in leinene Beutel oder in rechteckige Tüten aus starkem Papier, die mit einem in Wasser unauflöslichen Leim gekittet sind. Ein mit Ölstift auf Papier geschriebenes Etikett legt man der Probe bei und versieht außerdem den Beutel oder die Tüte auch äußerlich mit einer entsprechenden Bezeichnung.

Beim Verpacken des gesammelten Materials für den Transport wähle man starke Kisten und stelle die einzelnen Stücke, am besten doppelt in Zeitungspapier verpackt, aufrecht so nebeneinander in Reihen auf, daß sie gar keine Möglichkeit haben, sich zu bewegen. Wird die Reihe oder die Kiste nicht ganz voll, so stopfe man den verbleibenden Raum sorgfältig und fest mit Heu, Holzwolle, Papier oder etwas ähnlichem, aber nicht mit Sägemehl, aus.

Kapitel 30.

Beobachtungen über allgemeinere Fragen im Anschlusse an die Kartenaufnahme.

Der Geologe erhöht sich selbst die Freude und das Interesse an seiner Arbeit und er leistet zugleich der Wissenschaft manchen schätzbaren Dienst, wenn er außer seiner speziellen Arbeit und den durch diese geforderten Beobachtungen sein Augenmerk einer Reihe von Erscheinungen zuwendet,

die mit dem geologischen Bau und der Entwicklungsgeschichte des untersuchten Gebietes in engem Zusammenhange stehen. Ich kann an dieser Stelle nur in aller Kürze auf eine Reihe von Momenten hinweisen, die hier in Frage kommen würden, und muß im übrigen auf andere Werke, vornehmlich der geographischen Literatur verweisen, in denen diese Fragen mit großer Ausführlichkeit behandelt sind. Vor allen Dingen nenne ich hier das klassische Werk von Richthofens: „Führer für Forschungsreisende", in welchem in erschöpfender Weise alle hier nur kurz behandelten Gesichtspunkte besprochen sind.

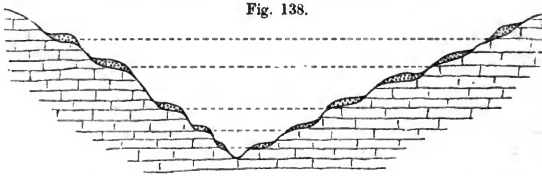
1. Quellen: Es ist bereits an mehreren Stellen im vorhergehenden darauf hingewiesen worden, von welcher Bedeutung das Auftreten von Quellen für eine Reihe von geologischen Fragen und speziell für die Aufsuchung von Verwerfungen und geologischen Grenzen ist, und es ergibt sich schon daraus, daß der Geologe in jedem einzelnen Falle sich die Frage vorzulegen hat, auf welche Weise das Zutagetreten einer Quelle aus dem geologischen Bau sich erklärt. Neben dem Interesse aber, welches das Auftreten von Quellen an sich darbietet, erfordern sie auch noch Beachtung in Bezug auf mehrere mehr untergeordnete Punkte. Fast keine Quelle ist so arm an mineralischen Lösungen, daß sie in ihrer Zusammensetzung dem chemisch reinen Wasser nahe steht, die meisten enthalten Salze oder Säuren gelöst, welche Andeutungen über den Weg geben können, den die Quelle zurückgelegt hat. In sehr vielen Fällen wird es ohne Analyse oder nähere Untersuchung des Wassers mittels chemischer Reagenzien nicht möglich sein, die Natur dieser Salze festzustellen. In anderen Fällen aber bieten entweder die Absätze der Quelle oder besondere Eigentümlichkeiten ein leichtes Hilfsmittel zur Erkennung der in ihnen enthaltenen Lösungen. Quellen, die in kalkreichen Gebirgen ihren Ursprung nehmen, lagern häufig in der Umgebung ihres Austrittes Kalktuff ab, der, wenn auch nennenswerte Mengen von Eisensalzen in Lösung mitgeführt werden, mehr oder weniger dunkel gefärbt ist, oder gar dünne Einlagerungen von Eisenocker enthält. In derselben Weise verraten sich kieselsäurehaltige Quellen durch den Absatz von Kieselsinter, Kohlensäuerlinge machen sich kenntlich durch mehr oder weniger lebhafte Gasentwicklung und gelegentlichen Absatz von Eisenocker; schwefelwasserstoffführende Quellen durch ihren Geruch und durch die einfache Probe mit einer blanken Silbermünze; kochsalzhaltige Quellen endlich lassen sich leicht am Geschmacke erkennen und verraten sich in vielen Fällen durch den Charakter der in ihrer nächsten Umgebung wachsenden Pflanzen. Eine Zusammenstellung der letzteren ist im Kapitel 19 bereits gegeben. Auch die Temperatur der Quellen ist wohl zu berücksichtigen, da sie namentlich im Gebiete ehemaliger oder heutiger vulkanischer Tätigkeit weit über der mittleren Jahrestemperatur

liegt, die den gewöhnlichen Quellen eigen ist. Solche warme Quellen im weiteren Sinne verraten sich äußerlich oftmals nicht, sind aber den Bewohnern der Umgegend gewöhnlich dadurch auffällig, daß das Wasser der Quelle bis zu einiger Entfernung von ihrem Austrittspunkte auch in strengen Wintern niemals zufriert, und durch die Üppigkeit der Vegetation zu einer Zeit des Frühjahrs, in der diese an allen anderen Punkten des Gebietes in ihrer Entwicklung noch weit zurück ist. Sicherheit gewährt natürlich sofort die Beobachtung der Temperatur mit einem einfachen Taschenthermometer in Messinghülse. Quellen, die im Sommer und Winter genau die gleiche Temperatur besitzen, kommen im allgemeinen aus größeren Tiefen als solche, deren Sommertemperatur diejenige während der kalten Jahreszeit übertrifft.

2. Talbildung: Die Fragen, die sich der Geologe in Bezug auf die Entstehung der Täler vorzulegen hat, stehen mit dem geologischen Bau der betreffenden Gegend in so engem Zusammenhange, daß in den meisten Fällen die Klarlegung der letzteren die Frage nach der Entstehung des Tals mitbeantwortet. Anders steht es mit dem Alter der Täler. Die Beantwortung dieser Frage ist in vielen Fällen sehr schwierig oder ganz unmöglich. Das Tal kann zu einer Zeit entstanden sein, als über den heute an der Oberfläche liegenden Schichten noch mächtige weitere Schichtenkomplexe vorhanden waren, deren Beschaffenheit und Tektonik den ersten Anstoß zur Entstehung des Tales an seiner heutigen Stelle gegeben haben können. Diese Schichten aber können durch die abtragenden Kräfte der Oberfläche vollständig beseitigt sein und das in ihnen eingeschnittene Tal kann heute infolgedessen ohne jede Beziehung zu dem Bau der noch vorhandenen Gebirgsglieder verlaufen. Die Erkennung solcher von Richthofen als epigenetische bezeichneten Täler ist natürlich nur dann möglich, wenn man mit der geologischen Geschichte einer Landschaft aufs genaueste vertraut geworden ist. Einfacher liegt die Sache bei den Tälern, deren Entstehung in die jüngsten Perioden unserer Erde fällt. Da die meisten Täler ihren Boden immer tiefer zu legen bestrebt sind, so müssen sie in früheren Zeiten in höheren Niveaus geflossen sein als heute und dort ihre Sedimente abgelagert haben. In den weitaus meisten Fällen nun sind diese älteren Flußabsätze entweder in zusammenhängenden Flächen oder wenigstens in einzelnen der Abtragung entgangenen Teilen noch vorhanden, und der Geologe vermag aus der petrographischen Beschaffenheit, der Fossilienführung und anderen für die Altersbestimmung geeigneten Momenten zu erkennen, in welcher Periode die am höchsten über dem heutigen Flusse gelegenen alten Absätze desselben entstanden sind, und er kann daraus seine Schlußfolgerung ziehen, um welchen Betrag der Fluß seit jener Zeit sein Bett vertieft hat und ob es wahrscheinlich ist, daß er in jener ältesten Zeit erst entstanden ist, oder ob

sein Ursprung in Zeiten fällt, aus denen keine Sedimente von ihm bis auf unsere Zeit sich erhalten haben. Es kommt also bei der Untersuchung der Geschichte eines Tales auf eine genaue Feststellung der verschiedenen, das Tal begleitenden alten fluviatilen Sedimente an. Sie bilden zumeist ebene Talböden, die oft in mehreren übereinander folgenden Terrassen entwickelt sind. Manchmal aber hat der Fluß solche Terrassen in das anstehende Gestein der Talwände eingeschnitten, ohne daß es zu Sedimentbildung gekommen wäre, gewöhnlich aber ziehen sich auch in diesem Falle noch hier und da auf beiden Flußufern zerstreute kleine Flächen von Flußsand, Geröllen und groben Kiesen hin, wie dies in schematischer Weise in dem folgenden Querprofile eines derartigen Flußtales angedeutet ist. Durch genaue

Fig. 138.



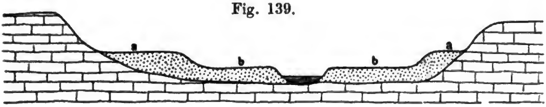
Bestimmung der Höhenlage dieser einzelnen kleinen Ablagerungen auf beiden Seiten des Flusses vermag man die gleichzeitig entstandenen Sedimente auf beiden Talgehängen miteinander zu parallelisieren und daraus die Phasen der Talbildung zu erkennen.

Bekannt ist auch der Fall, daß in der Geschichte eines Tales Perioden der Erosion mit solchen der Aufschüttung wechseln. Besonders ist dies in Gebieten der Fall, die in der Nähe von während der Diluvialzeit vergletschert gewesenen Gegenden liegen. Hier wurden die Täler durch die enormen von den Schmelzwassern des diluvialen Eises transportierten Schuttmassen bis zu großer Höhe über ihren bereits durch Erosion erreichten Talboden wieder ausgefüllt, und auf diese Weise weite, das ganze Tal überziehende, neue Talböden geschaffen. In der nächsten Erosionsperiode vertiefte der Fluß von neuem sein Bett, so daß die höchsten Terrassen das neuentstandene Tal auf beiden Seiten begleiten. Durch Wiederholung der Aufschüttung konnte eine zweite, eventuell eine dritte Terrasse entstehen. Durch solche Periodizität der Talbildung entstanden Talterrassen vom Charakter der im folgenden Querschnitte (Fig. 139) dargestellten. Man kann die beiden Arten der Talbildung, die in den Figuren 138 und 139 dargestellt sind, nach folgenden Gesichtspunkten unterscheiden: findet man an den Gehängen zwischen den fluviatilen Sedimenten horizontale Bänder anstehenden Gesteins, so weiß man, daß ein Tal vom ersteren Typus vorliegt. Besteht die Talausfüllung aber ganz aus Sediment, so können immer noch beide Fälle vorliegen und

man kann dann eine Sicherheit nur gewinnen, wenn tiefere künstliche oder natürliche Aufschlüsse vorhanden sind. Anstehendes Gestein in letzteren ist auf seine Höhenlage im Verhältnis zu Terrassen und Talboden zu prüfen und schon sein bloßes Vorkommen wird in den meisten Fällen als Beweis für Terrassenerosion im Anstehenden gelten können.

Eine andere Frage, die der Geologe sich vorzulegen hat, betrifft die petrographische Beschaffenheit des Materials in den verschiedenen Terrassen. Ist es in allen Terrassen gleichmäßig oder nicht? Ist es ungleichmäßig, so ist zu prüfen, ob die Differenzen ursprüngliche oder sekundäre sind. Das letztere ist anzunehmen, wenn die jüngeren Terrassen Gerölle enthalten, deren Material leicht der Verwitterung unterworfen ist oder der chemischen Auflösung anheimfallen konnte, und wenn solches in den älteren Terrassen fehlt. Man kann dann mit einiger Wahrscheinlichkeit

Fig. 139.



darauf schließen, daß in dem längeren Zeitraume, der seit der Entstehung der ersten verstrichen ist, Gerölle von solcher Beschaffenheit, wie beispielsweise Kalkstein, vollständig zerstört, in den jüngeren aber noch erhalten sind. Auf ursprüngliche Unterschiede in der Art der abgelagerten Gerölle dagegen darf man schließen, wenn in den älteren Terrassen harte, widerstandsfähige Gesteine fehlen, die in jüngeren sich finden; dann muß man der Frage nach der Ursache dieser Verschiedenheit seine Aufmerksamkeit zuwenden. Diese Frage aber läßt sich nur beantworten, wenn man im stande ist, aus der Natur der verschiedenen Gerölle mit Sicherheit das Gebiet zu erkennen, aus welchem sie herstammen. Durch diese Kenntnis wird man unter Umständen in den Stand gesetzt werden, festzustellen, daß das Anstehende des betreffenden Gesteins nicht mehr im heutigen Entwässerungsgebiet des Flusses liegt, daß dieser also im Laufe der Zeit seinen Lauf geändert, sein Entwässerungsgebiet verschoben haben muß. Auf die Bedeutung derartiger Studien für die Festlegung der alten Hydrographie eines Gebietes brauche ich an dieser Stelle nicht mehr hinzuweisen.

Eine andere das Wesen der Täler betreffende Frage bezieht sich auf die Ursachen der verschiedenen Querschnittsformen eines und desselben Flußtales an den verschiedenen Stellen seines Laufes. Auch für diese Frage, die vorwiegend aus dem geologischen Baue der einzelnen Abschnitte wird beantwortet werden können, sind bereits in früheren Kapiteln einige Hinweise

gegeben worden; das Auftreten von plötzlichen Talverengungen oder ebenso plötzlichen Erweiterungen, das Vorkommen von Stromschnellen und Wasserfällen, eventuell auch das Verschwinden eines Teiles der Wassermengen eines Flusses, wird für den Geologen immer eine dringende Aufforderung enthalten, den Ursachen dieser Erscheinungen auf den Grund zu gehen und die Lösung der sich daran anschließenden Fragen zu versuchen.

3. Seen: Jede größere Fläche stehenden Wassers, die nicht durch Menschenhand geschaffen ist (künstliche Fischteiche, Staubecken zu Berieselungszwecken), stellt den Geologen vor eine ganze Reihe von Fragen. Die zunächstliegende bezieht sich auf direkt beobachtbare Erscheinungen: Wie groß ist der See? Welches ist seine größte Tiefe? Von welcher Art ist die Gestalt seines Untergrundes? Was für Sedimente werden auf seinem Grunde heute abgelagert? Die Methoden, die man bei der Beantwortung dieser Fragen in Anwendung zu bringen hat, sind im zweiten Teile dieses Werkes bei der Seenuntersuchung eingehend erörtert. Weniger leicht zu beantworten ist in vielen Fällen die Frage, wie das betreffende Seebecken entstanden ist. Ist es durch eine Nehrung vom offenen Meere abgeschnürt und allmählich ausgesüßt? Liegt der See im Tale eines Flusses und stellt einen durch Abdämmung entstandenen Teil des Flußlaufes dar? Sind Momente vorhanden, die darauf schließen lassen, daß durch schwache tektonische Bewegungen ein Teil eines Flusses rückläufig geworden ist? Zur Beantwortung der letzteren Frage kann man durch Untersuchung der Höhenverhältnisse alter, ursprünglich in der Richtung des Flußtales geneigter Terrassen gelangen, wie beispielsweise am Züricher See, wo durch eine flache Aufwölbung im Alpenvorlande ein Teil des vom See erfüllten Tales gehoben und dadurch rückläufig geworden ist. Hier sind auch die Terrassen an beiden Seiten des Sees verbogen. Leicht zu erkennen sind Einsturzbecken und Kraterseen. Größere Schwierigkeiten bietet die Erkennung der Entstehung von Seen, die durch tektonische Ursachen bedingt sind. Hier ist ein genaues Studium der in einem Gebiete auftretenden Störungen und Faltungen unerläßliche Voraussetzung zur richtigen Erkenntnis. Äußerst zahlreich sind Seen in allen solchen Gebieten, die in der Diluvialzeit einer ausgedehnten Vergletscherung unterworfen gewesen sind. Aber auch hier kann die Ursache der Seenbildung sehr mannigfacher Art sein. Es sind zu unterscheiden: Ausräumungsbecken, die durch die direkte erodierende Tätigkeit des Gletschers (Exarationsseen Walthers) entstanden sind; fernerhin Seen, die durch Aufdämmung mittels eines Endmoränenwalles in einem Tale geschaffen sind; sodann Seebecken (hierher gehört die ungeheure Mehrzahl der Seen und der aus ihnen hervorgegangenen Moore in der sogenannten Grundmoränenlandschaft), die in ursprünglich

uneben abgelagerte, undurchlässige Oberflächenbildungen eingesenkt sind; ferner Ausräumungsbecken, die der Tätigkeit subglazialer Eisschmelzwasser ihren Ursprung verdanken, und schließlich Seen in alten Schmelzwasserläufen, deren Boden in einer späteren Phase der Gletschertätigkeit wieder teilweise durch Sedimente ausgefüllt wurde.

4. Spuren ehemaliger Vergletscherung: In Gebieten ausgedehnter, ehemaliger Inlandeisbedeckung begegnet man den Grund- und Endmoränen auf Schritt und Tritt, ein Zeugnis für eine glaziale Entstehung der betreffenden Bildungen. Schwieriger wird die Frage in Bezug auf das ehemalige Vorhandensein von Eisströmen in den Mittelgebirgen, für welche sie vielfach noch heute eine offene ist. Hier sind auf das sorgfältigste alle Erscheinungen zu prüfen, die für oder wider eine ehemalige Gletscherbildung ins Feld geführt werden können. Dahin gehören in erster Linie abgeschliffene und mit in der Bewegungsrichtung des Gletschers verlaufenden Kritzen und Schrammen versehene, glatte Oberflächen, sowie das Auftreten der so äußerst bezeichnenden Rundhöcker. Ein weiteres Kennzeichen bildet das Auffinden von Grund- und Endmoränen. Hier ist neben der besonderen Struktur derartiger Bildungen vor allen Dingen auf das Auftreten von abgescheuerten, geglätteten, mit Schrammen und Kritzen versehenen Geschieben zu achten, und es ist auf das sorgfältigste zu prüfen, ob die Entstehung derartiger Bildungen nicht auch auf andere (pseudoglaziale) Weise erklärt werden kann. Die einzelnen Gesteine verhalten sich außerordentlich verschieden in Bezug auf die Fähigkeit, die Zeugnisse der glazialen Entstehung anzunehmen und zu bewahren. Die vortrefflichste Umwandlung in gekritzte, sogenannte Scheuersteine, zeigen die Kalksteine; aber gerade sie sind durch ihre leichte chemische Zerstörbarkeit gewöhnlich nur in dem unteren, unverwitterten Teile der Moräne enthalten. Unter den Silikatgesteinen zeigen solche, die eine dichte Struktur und bedeutende Härte besitzen, die Erscheinungen der glazialen Bearbeitung gewöhnlich am deutlichsten. Viel weniger gut eignen sich dazu grobe, kristallinische Gesteine vom Typus der Granite und Gneise, und in den Gebirgen, die vorzugsweise aus solchen Gesteinen bestehen, wie beispielsweise im Riesengebirge, wird die Nachweisung des wirklich glazialen Ursprunges moränenartiger Bildungen aus diesem Grunde immer mit großen Schwierigkeiten verknüpft sein.

Ein anderes wichtiges Kennzeichen für ehemalige Vergletscherung eines Gebietes liefert die Auffindung von Stauchungen, Zusammenfaltungen und Verschleppungen loser, meist tertiärer Schichten innerhalb der vom Gletscher gelieferten Sedimente. Dies Anzeichen ist umso beweiskräftiger, wenn sich der Nachweis erbringen läßt, daß dieselben Schichten in etwas größerer Tiefe sich in ungestörter Lagerung befinden.

Noch eine ganze Reihe von anderen Fragen bieten sich der Beantwortung in den Verbreitungsgebieten alter Gletscher oder Inlandeismassen; dahin gehören solche nach der äußersten Ausdehnung der Vergletscherung, nach der Richtung, in welcher die einzelnen Teile der Eismassen sich bewegt haben, nach den durch Endmoränen oder ähnliche Bildungen gekennzeichneten Rückzugsetappen derselben, nach der Natur der von den Eisschmelzwassern abgelagerten sogenannten fluvio-glazialen Sedimente, nach der Bildung von kurzlebigen, durch das Eis aufgedämmten Stauseen, die sich durch Terrassen zu erkennen geben, welche nach einer Seite an noch heute vorhandene Ufer sich anlegen, nach der anderen Seite hin aber gewissermaßen in der Luft schweben, und schließlich die zahlreichen Fragen, welche an eine zwei- oder mehrmalige Überziehung des in Betracht kommenden Gebietes durch Gletscher anknüpfen. Es ist unmöglich, an dieser Stelle auf alle diese wichtigen Fragen näher einzugehen und es muß in Bezug auf sie auf die Spezialliteratur über die einzelnen Gebiete verwiesen werden, deren Studium in fast allen Fällen das Vorhandensein zahlreicher, noch der Lösung harrender Rätsel erweisen wird.

5. Beobachtungen an Küsten: Dem Geologen, dessen Tätigkeitsgebiet in der Nähe einer Seeküste liegt, drängen sich gleichfalls ohne weiteres eine ganze Reihe von Fragen auf, deren Beantwortung das geologische Kartenbild nicht weiter direkt beeinflußt, aber zum inneren Verständnis vieler Erscheinungen unbedingt erforderlich ist. Ist die Küste in Hebung oder in Senkung begriffen oder befindet sie sich seit geraumer Zeit im vollkommenen Gleichgewichte? Finden sich landeinwärts jugendliche marine Bildungen, die für einen Rückzug des Meeres sprechen würden? Läßt sich der Nachweis erbringen, daß heut etwa vorhandene Lagunen und Haffe oder Küstenmoore früher Teile des Meeres darstellten, durch Abschnürung von ihm getrennt und allmählich ausgesüßt wurden? Von welcher Form ist die Küstenlinie und aus welchem Umstande erklärt sich diese Form? In welchen Beziehungen steht die Gestalt der Küste zum geologischen Bau des angrenzenden Festlandes? Welche Umstände erklären den gradlinigen Verlauf einer Küste bei verschiedenartiger geologischer Zusammensetzung des Festlandes, und die Gestalt einer gebuchteten Küste bei gleicher geologischer Beschaffenheit der Ufer? Auf welche Umstände ist die Entstehung natürlicher Häfen zurückzuführen? Von welcher Art sind die Strömungen entlang der Küste? Verlaufen sie immer in derselben Richtung oder finden Umänderungen statt? Welche Einflüsse spielen dabei die vorherrschende Rolle? In welcher Weise wirken die Brandungswellen und die Gezeiten? Was geschieht mit den durch diese Faktoren zerstörten Küstengesteinen? In welcher Weise werden sie vom Meere wieder aufgearbeitet? Wo werden die einzelnen Teilprodukte wieder abgelagert? Sind der Küste Sand- und

Steinriffe vorgelagert? Besitzen diese eine gewisse Stabilität oder ändern sie häufig ihre Lage? Welchen Einfluß haben die von einmündenden Strömen im Meere abgelagerten Sedimente auf das Relief des Meeresgrundes? Bilden sie ein gleichmäßiges, untermeerisches Delta, oder ist dasselbe einseitig verschoben? Wie ist die Meeresfauna zunächst der Küste beschaffen? Von welcher Art sind die Erhaltungsbedingungen für die Lebewesen in den neugebildeten untermeerischen und Strandsedimenten? Wie ist die Beschaffenheit des Strandes? Ist das Material der Strandzone immer das gleiche oder wechselt es? Wie entstehen die Dünen? Welches sind die Ursachen für das Fehlen der Dünen an Küsten, die im übrigen für ihre Entstehung geeignet zu sein scheinen? Verlaufen die Dünen dem Strande parallel oder bewegen sie sich landeinwärts? In welcher Beziehung steht letztere Bewegungsrichtung zu der der herrschenden Winde? Sind Wanderdünen vorhanden? Welches ist ihre Masse und wie schnell bewegen sie sich? Lassen sich Beziehungen zwischen ihrer Größe und ihrer Bewegungsgeschwindigkeit feststellen?

6. Der Geologe ist bei seinen Arbeiten im Felde häufig in der Lage, der nahe verwandten Wissenschaft der Anthropologie wichtige Dienste zu leisten, da ihm bei seiner sorgfältigen Durchforschung eines Gebietes bisweilen zahlreiche Spuren des prähistorischen Menschen begegnen. Es wäre in hohem Maße zu wünschen, daß jeder Geologe auf solche Erscheinungen sorgfältig achtete und das Auftreten von Zeugnissen aus einer grauen Vorzeit durch ein kurzes Zeichen auf seiner Karte markierte, auch gegebenen Falles der zuständigen Stelle, dem betreffenden Provinzialmuseum oder bestimmten Spezialforschern zur näheren Untersuchung übermittelte. Dahin gehören Hünengräber, einfache Hügelgräber, Steingräber, Kistengräber, Steinsetzungen (Dolmen), alte Burgwälle, prähistorische Siedelungsstätten, die sich durch das Vorkommen von Herdsteinen, Holzkohlen, Scherben von Gebrauchsgeräten und Gegenständen aus Feuerstein oder anderem Stein, Bronze oder Eisen verraten, ferner Spuren alter Industrie, die sich durch eisenreiche Schlacken, Reste von Töpfereiöfen oder massenhafte geschlagene Feuersteinstücke als Abfallprodukte der Fabrikation von Feuersteingeräten zu erkennen geben. Am Schlusse dieses Werkes ist eine kurze Anleitung für die Behandlung und vorläufige Konservierung leicht zerstörbarer derartiger Funde gegeben.

7. Der Geologe kann sich das eigene Interesse an der Arbeit sehr erhöhen, wenn er eine Reihe von Gesichtspunkten mit in den Kreis seiner Beobachtungen hineinzieht, die sich auf die Wechselbeziehung zwischen dem geologischen Bau einer Gegend und verschiedenen anthropogeographischen Verhältnissen beziehen. Dahin gehören Fragen, wie die nach den

verschiedenen Arten der Bewirtschaftung des Bodens: die Verteilung von großen, geschlossenen Wald- und Ackerbaugebieten wird im allgemeinen leicht ihre Erklärung finden in dem verschiedenen Boden der einzelnen Gesteine; indessen kommen zahlreiche Ausnahmen vor, deren Prüfung im einzelnen bisweilen zu ganz interessanten Ergebnissen führen kann, die in vielen Fällen allerdings auch nur durch unrationelle Bewirtschaftungsweise ihre Erklärung finden. Wenn man beispielsweise in einem Gebiete, welches einen vorzüglichen Ackerboden liefern würde, ausgedehnten Wald findet, so wird man bei näherer Prüfung bisweilen finden, daß das betreffende Terrain aus der toten Hand in den Besitz des Staates zu einer Zeit gelangt ist, als die betreffende Gegend dünn besiedelt, und für eine Ausnutzung zu Ackerbauzwecken ungenügendes Menschenmaterial vorhanden war. Das Gebiet wurde in diesem Falle für die mit weit geringeren menschlichen Arbeitskräften zu bewältigende Waldkultur verwendet und befindet sich infolge eines natürlichen Beharrungsvermögens noch heute in diesem wirtschaftlich unrationellen Zustande. Anderseits wird man oft ausgedehnten Landwirtschaftsbetrieb in Gebieten finden, deren schlechter Boden weit eher für Aufforstung geeignet wäre, und wird in diesem Falle bisweilen die Erfahrung machen, daß es sich hier um in historischer Zeit erfolgte Ansiedelung von in größeren Mengen ausgewanderten Angehörigen anderer Volksstämme handelt.

Eine andere hierher gehörige Frage bezieht sich auf die Ursache der verschiedenen Dichte der Bevölkerung in geologisch gleichwertigen und nicht weit voneinander entfernten Gebieten. Sehr interessant ist auch das bisweilen zu beobachtende Zusammenfallen geologischer Grenzen mit religiösen und Völkergrenzen; so bildet beispielsweise im Gebiete des Baltischen Höhenrückens auf einer großen Strecke die Endmoräne die Grenzscheide zwischen dem Gebiete des ehemaligen Königreichs Polen und dem alten preußischen Staate, und noch heute findet man hier, wo jetzt die Grenze zwischen den Provinzen Posen und Westpreußen verläuft, auf der einen Seite eine katholische und vorwiegend polnische, auf der anderen eine protestantische und deutsche Bevölkerung. In der Gegend von Lichtenfels in Bayern verläuft die Landesgrenze auf einer großen Strecke auf dem Gebiete der großen Randverwerfung des Frankenwaldes gegen das vorliegende mesozoische Gebirgsland. Hier liegt die Ursache darin, daß auf der einen Seite ein flachhügeliges, für Ackerbau vorzüglich geeignetes Gebiet sich findet, auf der anderen Seite das aus ziemlich sterilen, noch heute mit ausgedehnten Wäldern bedeckten paläozoischen Schichten gebildete Gebirge des Frankenwaldes angrenzt, wodurch bereits in sehr früher Zeit eine Völkerscheide sich entwickelte, die in ihren politischen Folgen noch heute auf einer großen Strecke im Verlaufe der Grenze sich ausspricht.

Noch andere Gesichtspunkte, wie die Abhängigkeit zusammengehöriger

faunistischer und floristischer Gebiete vom geologischen Untergrunde, oder das Vorherrschen gewisser Kulturpflanzen (Hopfen, Reben, Zuckerrüben, Obstbaumzucht) auf bestimmtem Boden, können hier nur noch ganz kurz zum Schlusse angedeutet werden.

Kapitel 31.

Geologische Beobachtungen im Hochgebirge.

Von Prof. Dr. A. Rothpletz, München.

Um im Hochgebirge mit Erfolg Geologie zu treiben, muß man einen gesunden Körper haben. Wer ein schwaches Herz hat, an Atemnot oder Schwindel leidet, sollte sich hier fernhalten. Andere Schwächen hingegen, wie Neigung zu Erkältungen, Magenverstimmungen, Schlaflosigkeit, überrascher Ermüdung, werden durch eine zweckentsprechende Lebensweise im Hochgebirge vielfach leichter überwunden als in den Niederungen.

Vor allem sorge man für eine richtige Bekleidung und glaube nicht, alte Stadtkleider im Gebirge auftragen zu können. Die Kleider müssen für das schlimmste Wetter, Kälte, Regen, Schnee und Wind, eingerichtet sein, aus guten Wollenstoffen, für das Unterzeug kann man keine allgemeinen Vorschriften geben, das richtet sich nach der Hautempfindlichkeit eines jeden. Die Schuhe aus festem Leder, gut benagelt und wasserdicht, müssen vor von oben eindringendem Wasser noch durch Gamaschen oder Fatschen geschützt werden können. Bei gutem und heißem Wetter entfernt man die warmen Kleidungsstücke und steckt sie in den Rucksack. Je freier der Oberkörper getragen wird, umso wetterfester wird er. Zum Transport der unnötigen Kleider wie auch aller anderen persönlichen Bedarfsgegenstände eignet sich der breite wasserdichte Rucksack am besten.

Auf die Ernährung ist große Sorgfalt zu verwenden. Man gewöhne sich daran Morgens und Abends die warmen Hauptmahlzeiten einzunehmen, tagsüber öfters, alle drei oder vier Stunden, aber jedesmal nur wenig zu genießen — natürlich nur kalte Speisen und keinen Alkohol. Besteht keine Aussicht gutes Quellwasser anzutreffen, so nehme man kalten Tee oder Kaffee mit. Gedörrtes oder frisches Obst ist sehr empfehlenswert. Die Auswahl der kalten Speisen wird sich nach dem persönlichen Bedürfnis richten — im allgemeinen soll man von seiner gewohnten Nahrung so wenig wie möglich abgehen, doch hüte man sich, Dinge mitzunehmen, die durch längeren Transport oder große Hitze leiden oder ungenießbar werden. Von ausschließlicher Konservennahrung ist abzuraten, ebenso von der Mitnahme von Champagner bei schwierigen Kletterpartien, dessen Genuß zwar momentan die erschöpften Lebensgeister aufmuntert, aber wiederholt zu ver-

hängnisvollen Katastrophen geführt hat. Des Abends im sicheren Nachtquartier schadet dem, der daran gewöhnt ist, ein mäßiger Alkoholgenuß nichts oder nicht mehr als in der Ebene, notwendig ist er aber keineswegs selbst bei der größten Kälte.

Im Falle von Erkrankungen oder Verletzungen ist eine kleine Taschenapotheke von großem Nutzen; meist enthalten die, welche für den Hochtouristen zusammengestellt in den Handel gebracht werden, viele ganz unnötige Medikamente. Bei längeren Touren abseits bewohnter Orte ist englisches Pflaster, Heftpflaster, blutstillende Watte und etwas Verbandzeug das wichtigste.

Das geologische Handwerkszeug ist im Hochgebirge dasselbe wie in der Ebene, nur kommt noch das hochtouristische hinzu, je nach Umständen also Eispickel oder Bergstock, Seil, Steigeisen und Kletterschuhe. Taschenbarometer und photographische Apparate werden ebenfalls vielfach notwendig sein und so schwillt dann leicht die Last des Gepäckes so sehr an, daß der Geologe dadurch in seiner freien Beweglichkeit gehemmt wird. Er muß deshalb trachten, soviel als möglich von seinem Gepäck auf die Schultern von Trägern abzuladen, die gemächlich sich die bequemste Marschroute aussuchen können, während er bald nach rechts, bald nach links in die Felsen oder Wasserrisse einsteigt oder über Steilgehänge traversiert. Auf diese Weise gewinnt er auch die Möglichkeit, Gesteinshandstücke und Versteinerungen je nach Bedürfnis mitzunehmen. Freilich wird diese neue Last auch dem Träger bald zu schwer werden, und deshalb muß der Geologe stets darauf bedacht sein, daß er nach wenigen Tagesmärschen immer wieder Stationen erreicht, in denen er seine Aufsammlungen deponieren und neuen Proviant fassen kann. Diese Stationen dienen ihm dann auch als Zufluchtsort, wenn für längere Zeit schlechtes Wetter eintritt. Dieses nämlich bedeutet für den wandernden Geologen stets Rastzeit, denn im Hochgebirge noch viel mehr als in den Niederungen verhindert Schneefall oder Regen gute geologische Beobachtungen. Macht man doch solche, so entsteht später meistens die Notwendigkeit zu Revisionen. Wo Alpenvereinshütten, Alphütten oder alpine Wirtshäuser da sind, werden sie meistens als Nachtquartier benutzt werden können. Hat man noch genügend Proviant und einen Schlafsack bei sich, so wird man auch im Freien ohne Gefahr übernachten, ja selbst ohne Schlafsack übersteht man bei Zwangslagen eine Nacht im Freien meist ohne körperlichen Schaden, weil die krankheitserregenden Mikroorganismen im Hochgebirge fehlen.

Stets nehme man die besten topographischen Karten mit, die von einer Gegend zu haben sind, aber selbst mit diesen wird der mit dem Hochgebirge noch nicht durch jahrelangen Aufenthalt vertraute Geologe, besonders bei Eintritt schlechten Wetters, vor Verirrungen nicht geschützt sein und auch bei gutem Wetter die besonderen Gefahren des Hochgebirges nicht recht-

zeitig erkennen. Deshalb ist für solche die Mitnahme eines Bergführers unentbehrlich. Wo es von Gebirgsvereinen autorisierte Führer gibt, ist die Wahl gegeben. Andernfalls suche man dazu etwa einen Jäger oder Geißhirten zu gewinnen. Doch ist es notwendig, sich den Führer zu erziehen, damit er die Bedürfnisse eines Geologen von denen eines gipfelstürmenden Hochtouristen zu unterscheiden wisse. Die Führer haben häufig den Ehrgeiz, in möglichst kurzer Zeit viele Gipfel zu besteigen und machen dabei auf Grund der vorhandenen Führertarife auch bessere Geschäfte als wenn sie, scheinbar ziellos, die Bergflanken abklettern müssen. Hat man sich aber einen Mann dazu erzogen und hat er dabei ein gutes Orientierungsvermögen bewiesen, so nehme man ihn unbedenklich auch in solche Gebiete mit, die ihm noch fremd sind. Wo hingegen Mineralien- und Petrefaktensammler zu Hause sind, werden diese dem Geologen als Führer die besten Dienste leisten können.

Das Hochgebirge mit seinen hohen, von Vegetation und Schwemmland nur wenig, oft gar nicht bedeckten Steilwänden gewährt dem Geologen einen tieferen Einblick in den Bau der Erdkruste als irgend eine andere Gegend. Es ist deshalb ganz besonders zu tektonischen Studien geeignet, während rein stratigraphische wegen der meist großen Schichtenstörungen hier schwieriger als in Plateaulandschaften sind. Der Anblick der Bergflanken läßt die Besonderheiten der Schichtstellungen oft schon von ferne erkennen und deshalb ist es nötig, diesen Anblick zu fixieren. Vorzüglich eignet sich dazu die Photographie, aber sie hat mancherlei Mängel, so daß sie die ältere Methode der Bleistiftskizze niemals ganz auszuschalten im stande sein wird. Das Wetter, die Beleuchtung, das Fehlen eines passenden Standortes und vieles andere machen solche Aufnahmen oft unmöglich, während der geübte Zeichner auch dann noch ganz leicht eine Skizze entwerfen kann. Sodann weiß man nie, was bis zur Entwicklung der Platte noch eintreten und die Erzielung eines brauchbaren Bildes vereiteln kann. In den meisten Fällen aber bekommt man dieses Bild erst zu sehen, wenn man die Untersuchung des betreffenden Berges oder Gegenstandes längst abgeschlossen hat, und häufig genug zeigt die photographische Wiedergabe gerade die geologisch wichtigen Verhältnisse nicht so deutlich, als das Auge sie sah und der Zeichenstift sie hätte festhalten können. Der Vorzug der photographischen Aufnahme liegt allerdings in der Zuverlässigkeit der Wiedergabe räumlicher Dimensionen und in der Kürze der Zeit, die sie beansprucht. Häufig ist sie auch ein absolut notwendiger Ersatz für den Mangel an Zeichenkunst. Jeder Geologe — besonders aber der des Hochgebirges — sollte im stande sein, eine einfache Skizze in richtigen Verhältnissen in kurzer Zeit aufs Papier zu bringen, aber leider ist dies vielen nicht möglich, weil sie während ihrer Studienzeit es nicht gelernt haben und der obligatorische Zeichenunterricht in Volks- oder Mittelschulen nur selten die Wiedergabe einer Landschaft nach der Natur anstrebt. Und doch kann der im Hoch-

gebirge wandernde Geologe gar nicht genug solcher Skizzen entwerfen, um das Gesehene sich schärfer einzuprägen und für die Zukunft zu fixieren! Ehe man an die Untersuchung einer hohen Felswand oder eines ganzen Berggehänges geht, ist es von größtem Wert und erleichtert die ganze Untersuchung oft ungemein, wenn man sich das Objekt von ferne abzeichnet, den scheinbaren Schichtenverlauf und alle Punkte, die unklar bleiben oder besonders verwickelt erscheinen, darin einzeichnet und insbesondere auch alle Anstiegrouten, die man zu nehmen beabsichtigt oder die überhaupt möglich erscheinen. Eine solche Skizze dient dann bei der Einzeluntersuchung nicht nur als ein vorzüglicher Orientierungsplan, sondern gewissermaßen auch als ein Untersuchungsprogramm. Hat man Zeit und Gelegenheit dazu, so wähle man als Standpunkt für solche Skizzen solche Höhen aus, die ungefähr der mittleren Höhe des zu zeichnenden Objektes entsprechen. Man vermeidet dadurch die oft so mißlichen Verkürzungen, die insbesondere bei tiefem Standpunkt eintreten und leicht zu ganz irrigen tektonischen Auffassungen führen können. Insbesondere aber trage man Sorge für eine richtige Perspektive in der Zeichnung, damit das Gehänge nicht wie eine senkrechte Wand und die Gipfelschichten nicht als unmittelbare vertikale Fortsetzung der Sockelschichten am Fuße des Berges erscheinen. Als Ergänzung solcher Skizzen haben dann die Detailzeichnungen zu dienen, die man bei dem genaueren Begehen des erst von ferne skizzierten Berges überall da entwerfen soll, wo sich unerwartete oder sehr interessante tektonische Verhältnisse darbieten. Zum größten Vorteile aber gereicht es, wenn man nach vollendeter Detailuntersuchung nochmals Gelegenheit findet, das Objekt von ferne zu besichtigen und zu zeichnen, wobei dann vielleicht vieles, was bei der ersten Skizze undeutlich erschien, klar in die Erscheinung tritt. Nachträglich lassen sich nach diesen Entwürfen auch photographische Bilder leicht geologisch kolorieren.

Neben diesen tektonischen bietet das Hochgebirge noch in einer anderen Richtung besonders gute Gelegenheit zu Beobachtungen. Die allgemeinen physikalischen und chemischen geologischen Vorgänge sind hier am wenigsten durch Menschenhand gestört und durch jahrhundertlange Kulturarbeit beeinflußt worden. Wir können sie da am reinsten erkennen und sie äußern sich hier zum Teil auch am deutlichsten, weil Wind und Wetter die Höhen stärker umtoben als die Niederungen; Blitzschlag, Hitze und Kälte, Wasser, Schnee und Eis hinterlassen hier ihre unzweideutigsten Spuren. So kann das Studium des Gebirgsbaues zugleich zur genaueren Erforschung der an der Gebirgszerstörung beteiligten Kräfte führen und können selbst durch Unwetter bedingte Rasttage in Berghütten unerwartete Belehrung bringen.

Das bisher Erwähnte bezog sich hauptsächlich auf das Hochgebirge unserer Kulturstaaten, von denen der Geologe mehr oder minder gute

topographische Karten sich leicht verschaffen kann, in deren Tälern er bewohnte Ortschaften findet, von denen aus Saumwege oder Fußpfade auf die Höhen führen zu Almhütten oder Berghäusern. Zumeist liegen von solchen Gebirgen schon geologische Vorarbeiten vor, auch geologisch kolorierte Karten, so daß der reisende Geologe sich entweder auf eine kritische Beurteilung des Gebotenen beschränken, oder wenn er mehr leisten will, Spezialuntersuchungen vornehmen kann. Anders jedoch liegen die Verhältnisse in noch unerforschten, unbewohnten oder nur von wilden Völkern bewohnten Hochgebirgen.

Die Sorgfalt für die Proviantierung, Kleidung und persönliche Sicherheit muß in diesen Fällen bedeutend größer sein, eine große Anzahl von Trägern und Lasttieren ist oft ganz unvermeidbar, doch wird sich auch da alles nach der persönlichen Eigenart des Reisenden und seinen Geldmitteln richten. Da aber in solchen Gegenden in der Regel gar keine oder doch nur höchst unzuverlässige topographische Karten für das Hochgebirge existieren, so erwächst daraus dem Geologen neben seinen speziellen noch die besondere Aufgabe topographischer Aufnahmen, wenn er nicht in der glücklichen Lage ist, zu diesem Zwecke einen besonderen Topographen mitnehmen zu können. Ist letzteres nicht der Fall, so wird sich der Geologe am besten auf die einfachsten Methoden beschränken, denn Teodolithaufnahmen sind sehr zeitraubend und vertragen sich nicht immer mit den Anforderungen, die geologische Untersuchungen stellen. Die horizontalen Distanzen müssen geschätzt werden, die Winkel mit einem einfachen Diopterkompaß und die Höhen mit Barometer gemessen werden. Mehr denn je sind in diesem Falle orientierende Ansichts- und Grundrißzeichnungen nötig und jede einigermaßen wichtige geologische Beobachtung sollte sofort in ausführlichster Weise ins Notizbuch eingetragen werden. Scheinbar unbedeutende Dinge erhalten oft durch spätere Beobachtungen ungeahnte Wichtigkeit, lassen sich dann aber nicht wieder besuchen.

Je nachdem ein solches Gebirge mehr aus Eruptivgesteinen und kristallinen Schiefern oder aus normalen Sedimenten besteht, wird die Mitnahme zahlreicher Gesteinshandstücke oder das Aufsammeln von Versteinerungen zu einer Hauptaufgabe werden. Da aber der Transport solcher meist stark ins Gewicht fallenden Gegenstände hier mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft ist, so trachte man, nur gutes Material mitzunehmen, dasselbe solid einzuwickeln und sehr gut zu etikettieren. Auch sollte man ein Verzeichnis der mitgenommenen Stücke jeweils in das Notizbuch eintragen mit möglichst genauer Angabe des Fundortes und Bezeichnung desselben auf der Skizze. Im Quartier angelangt, verpacke man die Stücke in kleine Säcke oder Kisten, so daß beim Transport durch Lasttiere oder auf Wagen dieselben sich nicht abscheuern können. Dem Gedächtnis allein soll man so wenig wie möglich anvertrauen, denn die Fülle neuer Eindrücke, Krankheiten oder gar Unglücksfälle können leicht die Erinnerung trüben oder ganz auslöschen.

B. Besondere geologische Beobachtungen.

Kapitel 32.

Geologische Beobachtungen in den Tropen und Subtropen.

Von Prof. Dr. S. Passarge, München.

Zwei Faktoren sind es, die in erster Linie die geologischen Aufnahmen in der Tropen- und Subtropenregion beeinflussen und ihnen ein eigenartiges Gepräge verleihen. Der eine Faktor ist den genannten Regionen ausschließlich eigen, nämlich das Klima. Ihm verdanken ja Tropen und Subtropen ihre Grenzen und ihren Charakter. Der zweite Faktor ist ein äußerlicher und auch in anderen Regionen zu finden, nämlich der meist geringe Kulturzustand der Völker, der sich darin äußert, daß kartographische Grundlagen für die geologischen Aufnahmen meist fehlen. Selbst in relativ kultivierten Ländern, wie den europäischen Kolonialgebieten, Südamerika u. a., ist der Geologe meist gezwungen, sich seine Karten selbst anzufertigen. Er muß also geographische Arbeiten mit übernehmen, aber nicht bloß auf dem kartographischen Gebiet. Die Verhältnisse zwingen ihn auch zum Studium anderer geographischer Fragen, ohne die er dort nicht zu einem Verständnis der geologischen Verhältnisse gelangen kann, so besonders des Klimas, der Pflanzendecke und Tierwelt. Ja selbst die Tätigkeit des Menschen darf er nicht unberücksichtigt lassen. Es wird zweckmäßig sein, daß sich der ausziehende Geologe von vornherein dessen bewußt ist, daß er sich solchen Studien zuwenden muß.

Da dieses Kapitel bezweckt, ganz allgemein Winke für zum erstenmal ausziehende Geologen zu geben, so wird man den Stoff in drei Teile teilen:

I. Ausrüstung und Lebensweise.
II. Kartographische Aufnahmen.
III. Die Abhängigkeit der geologischen Verhältnisse von dem Klima und seinen Folgeerscheinungen.

I. Ausrüstung und Lebensweise.

Es ist unmöglich, bei dem beschränkten Raum, der diesem Kapitel zugestanden ist, ausführlich auf Ausrüstung, Kleidung u. s. w. einzugehen. Ich muß mich auf einige Winke beschränken.

Wer nach Afrika hinausgeht, speziell in die Kolonien, findet bei unseren Berliner Ausrüstungsfirmen alles Nötige. Sobald die Reise aber nach anderen Gebieten führt, wird man gut tun, gewisse Ausrüstungsgegenstände, wie Zelt, Bett, Koffer, in überseeischen Handelsplätzen, z. B. Bombay, Singapore, Schanghai, Trinidad, zu kaufen oder besser noch in einem der großen Ausrüstungshäuser Londons. Der Anfänger wird stets das erste Mal Mißgriffe machen und ein gewisses Lehrgeld bezahlen.

Kurz fassen kann ich mich auch bezüglich der Lebensweise. Mäßiger

und solider Lebenswandel ist in den Tropen sicherlich am zweckmäßigsten. Am wichtigsten ist nach meinen Erfahrungen der Schutz des Kopfes und Nackens gegen die Sonne. Die schlimmsten und gefährlichsten Fieber pflegen sich nach Sonnenstich einzustellen. Mit großem Erfolge habe ich auf allen meinen Reisen die „Stanleymütze“ mit Nackenschleier getragen.

Über Transportmittel läßt sich nichts Allgemeingültiges sagen. Sie sind in jedem Lande anders und man wird gut tun, sich den jeweiligen Verhältnissen anzupassen.

Das Verpacken der Sammlungen erfolgt wie überall, besondere Vorsichtsmaßregeln bedingt das Tropenklima in diesem Falle nicht.

II. Die kartographischen Aufnahmen.

Es wird genügen, auf die wichtigsten Arten der Aufnahmen hinzuweisen.

1. Die Itineraraufnahmen, die dazu dienen, die Weglinie mit allen bemerkenswerten Punkten in der Umgebung festzustellen, braucht der Geologe unbedingt, wenn er genau die Punkte fixieren will, wo er dieses oder jenes Gestein gefunden hat, wenn er genau den Verlauf von Bergen, Flüssen, Tälern und dessen Abhängigkeit vom geologischen Bau erkennen will. Selbst in Ländern, von denen die Übersichtskarten einen relativ großen Maßstab besitzen, wird es zweckmäßig, ja notwendig sein, eigene Karten zu machen, da kaum jemals die vorhandenen Karten von Kartographen stammen, die für die Geländeformen und ihre Abhängigkeit vom geologischen Bau Verständnis besessen haben, und da ferner gar zu leicht die Aufnahmen direkt ungenau sind. Der Verfasser hat es z. B. nie bereut, selbst in Algerien, wo doch gute kartographische und geologische Aufnahmen vorliegen, trotzdem eigene Itineraraufnahmen anzustellen.

Diese Aufnahmen werden mit Uhr und Kompaß angestellt, und statt einer ausführlichen Darstellung, wie solche zu machen sind, begnüge ich mich mit dem Rate, die bei Dietrich Reimer erschienenen Routenaufnahmebücher mitzunehmen, die aus der Feder von Sprigade und Moisel eine kurze, klare und völlig ausreichende Darstellung der Routenaufnahmen enthalten.

Als Ergänzung sind hier nur noch einige Bemerkungen über trigonometrische Aufnahme einer Gegend zu machen. Nicht exakte wissenschaftliche Vermessungen mit dem Theodolit u. s. w. habe ich hier im Auge, sondern rohe, aber in unbekannten Gegenden genügend genaue Resultate gebende Messungen.

In erster Linie sei empfohlen die Mitnahme eines Entfernungsmessers. Die Firma Fueß in Steglitz liefert zwei Instrumente, ein Prisma und einen Entfernungsmesser, die mit großem Nutzen angewendet werden können, um von einem Punkt aus auf eine Entfernung von vielen Kilometern den Abstand von Bergen u. s. w. zu messen. So hat der Ver-

fasser mit dem großen Entfernungsmesser z. B. die Entfernung von Las Bonitas am Orinoko bis zum Peak von Sta. Rosalia auf 45 km bestimmt, während die kombinierten astronomischen und Itinerarbeobachtungen 43 km ergaben — gewiß ein brauchbares Resultat bei Forschungsreisen in völlig unbekannten Ländern.

Sehr gute Resultate erhält man, wenn man eine oder mehrere Basen von einigen Kilometern Länge mit dem Entfernungsmesser wiederholt mißt, indem man den Abstand eines deutlich sichtbaren Punktes vom Beobachtungspunkt festlegt und nun von den gewonnenen Fixpunkten Peilungen mit dem prismatischen Kompaß oder mit dem Meßtischblatt oder mit Präzisionsinstrumenten — Sextant, Theodolit — vornimmt. Dann erhält man sicherlich ein besseres Resultat, als durch Abschreiten oder Abmessen einer Basis in dem doch meist unebenen Gelände.

Ganz vorzüglich ist die Methode, bei zwei oder mehreren aus großer Entfernung sichtbaren Punkten 1. durch Kompaßpeilungen die Winkel, unter denen sie zueinander liegen, und 2. durch möglichst genaue Breitenbestimmungen die Lage der Punkte festzulegen. Auf solche Weise kann man oft sehr große Basen — 50 und mehr Kilometer — bis auf einige hundert Meter genau bestimmen und damit alle von den Fixpunkten angepeilten Berge u.s.w. festlegen. Diese letzte Methode gibt namentlich in Inselbergregionen ausgezeichnete Resultate. Sie führt über zu der Besprechung der

Astronomischen Ortsbestimmung.

Kein Geologe sollte auf Forschungsreisen gehen, ohne sich mit den einfachsten Instrumenten vertraut zu machen zur Vornahme astronomischer Ortsbestimmungen. Man erlernt den Gebrauch des Theodoliten und Sextanten sehr schnell und es ist wirklich kein Kunststück, befriedigende Breitenbestimmungen zu machen, wenigstens in unseren, d. h. den tropisch-subtropischen Regionen. Die Berechnung der durch Kulminationsbeobachtungen gewonnenen Breite ist so einfach, daß man sie sofort anstellen kann. Der enorme Vorteil, den Breitenbestimmungen auf größeren Reisen gewähren, beruht darauf, daß mit der Festlegung des Parallels die sich summierenden Fehler der Itinerar- und Peilungsaufnahmen ausgeschaltet und eine bis auf einige hundert Meter richtige Linie als neuer Ausgangspunkt gewonnen werden kann.

Trotz aller Breitenbestimmungen wird die Karte aber in der Luft schweben, solange nicht wenigstens ein Punkt der Länge nach bestimmt ist. Es ist sehr empfehlenswert, daß man, nachdem man sich die notwendige Routine in der Beobachtung erworben hat, auch Längenbestimmungen an einigen wenigen wichtigen Punkten vornimmt, und zwar ganze Serien von Beobachtungen an verschiedenen Tagen. In niederen Breiten von 0°—20° geben Mondhöhen sehr gute Resultate, sobald die Breite des Ortes genau bestimmt ist.

Höhenmessungen.

Für den Geologen ist nun aber nicht bloß die Konstruktion einer Karte nach der Horizontalen, sondern auch die Ermittlung der Höhenverhältnisse von größter Wichtigkeit. Um diese zu bestimmen, gibt es verschiedene Methoden. In erster Linie und gewissermaßen auf der Reise selbst akut wichtig ist die Erforschung der relativen Höhenverhältnisse im Verlauf der Reiseroute und die relative Höhe von Bergen am Wege.

a) Die trigonometrische Messung besteht darin, daß man eine Basis abmißt und von den Endpunkten aus die Winkelhöhe des Berges und seine Lage zu der Basis bestimmt, ist wohl als bekannt vorauszusetzen. Abgesehen von der exakten trigonometrischen Vermessung kann man sich nun auch mit einfachen Hilfsmitteln über die Höhe der Berge orientieren. Die einfachste Methode ist die Bestimmung der Entfernung des Berges mit einem Entfernungsmesser oder durch Peilungen von einer Basis aus und Messung der Höhe des Berggipfels mit Hilfe des prismatischen Kompasses oder des Theodoliten. Aber auch die aus der Kartenkonstruktion gefundene Entfernung läßt sich verwerten. Je nachdem man den Abstand des Berggipfels von dem Beobachtungspunkt mit dem Entfernungsmesser oder den horizontalen Abstand der Basis jenes bestimmt hat, ist $h = a = \sin\alpha \,.\, b$, resp. $= tg\,\alpha \,.\, c$. Selbst aus sehr großer Entfernung kann man recht befriedigende Resultate erzielen. So hat der Verfasser z. B. die relative Höhe des Zobten aus 32 km Entfernung mit dem prismatischen Kompaß auf 628 m bestimmt, während die wahre Höhe ca. 593 m ist. Welche Schätzung käme diesem Resultat gleich! Die besten Resultate aber erhält man bei nahe gelegenen Bergen. Vor allem aber kann man beständig seine Schätzungen kontrollieren, gerade in den Tropen und Subtropen ein wichtiger Punkt. Denn die meisten unterschätzen die Höhen ganz gewaltig. Wer einen Theodoliten mitführt, sollte freilich nicht die Mühe scheuen, an Standorten und an Lagerplätzen mit diesem Instrument die Höhenwinkel und Azimute zu messen.

b) Die barometrische Höhenmessung verfolgt zwei Zwecke: einmal die Bestimmung der absoluten Höhe über dem Meeresspiegel, sodann die Bestimmung relativer Höhen. Bezüglich des ersten Punktes verweise ich auf die Darstellung Geh.-R. v. Danckelmanns in dem bereits genannten „Routenbuch“. Der Geologe braucht die Resultate nicht selbst zu berechnen, sondern kann dies nach seiner Rückkehr von Fachmännern ausführen lassen. Anders steht es mit Messungen relativer Höhen, also von Bergspitzen, Lagerplätzen u. s. w. zueinander. Mit Hilfe einer einfachen Formel kann er jederzeit einen annähernd richtigen und im allgemeinen genügenden Wert berechnen. Notwendig ist nur die Ablesung der Lufttemperatur mit Hilfe eines Schleuderthermometers und des Barometers. Sind die Barometerstände an den Plätzen a und b Ba und Bb,

die Temperaturen ta und tb, so lautet die Formel:

$$\frac{8000}{\frac{B_a + B_b}{2}} \cdot \left[1 + 0.04 \cdot \left(\frac{t^a + t^b}{2}\right)\right] \cdot (B^a - B^b) = h$$

$\frac{8000}{\frac{B_a + B_b}{2}}$ ist die angenäherte barometrische Höhenstufe,

$1 + 0{,}04 \left(\frac{t^a + t^b}{2}\right)$ die Korrektion derselben durch die Temperatur und die verbesserte barometrische Höhenstufe multipliziert mit der Differenz der Barometerstände gibt die Höhe.

Indem man auf dem Marsch an mehreren Punkten die betreffenden Ablesungen vornimmt, kann man die gegenseitige Höhenlage der Punkte bestimmen. Dabei ist freilich vorausgesetzt, daß das Barometer seinen Stand nicht ändert. Das ist nun aber nicht der Fall. Gerade in den Tropen schwankt der Luftdruck im Laufe von 24 Stunden meist in ganz bestimmter Weise, nämlich in Form einer Doppelwelle. In der Äquatorialregion ist der Stand um $4^{h\ a.m.}$ durchschnittlich — 0,74 mm unter dem Tagesmittel, um $9^h 30^m$ + 1,08 mm über dem Tagesmittel, um $3\frac{1}{2}^{h\ q.m.}$ — 1,30 mm und um $10^{h\ q.m.}$ + 0,89 mm. In 20° Breite ist die Abweichung nach $4^{h\ a.m.}$ — 0,5 mm, $9^{h\ a.m.}$ + 0,99, $3^h 30^m$ — 1,04, $10^{h\ q.m.}$ + 0,64 mm. In 33½° Breite: . $4^{h\ a.m.}$ — 0,64 mm, $9^{h\ a.m.}$ 0,69 mm, 4^h — 0,40, 10^h + 0,41 mm.

Diese Zahlen sind natürlich Mittelwerte. Die Schwankungen können erheblich größer sein und 5 und mehr Millimeter erreichen. Da nun die barometrische Höhenstufe ca. 1 mm = 11 m ist, so können Fehler von 55 und mehr Meter resultieren. Deshalb ist es notwendig, stets die Z e i t d e r A b l e s u n g zu notieren und ferner in Standlagern den täglichen Luftdruck Morgens, Mittags und Abends zu beobachten, um einen Anhalt für die anzubringende Korrektion zu ermöglichen. Auch wird es zweckmäßig sein, regelmäßig bald nach Mittag, also ca. um 12 Uhr 30 Min., eine Ablesung zu machen, weil dann der mittlere tägliche Barometerstand annähernd erreicht ist. Glücklicherweise fehlen den Tropen und im allgemeinen auch den Subtropen die wandernden Minima, die bei uns das „Wetter" machen, fast ganz, dafür treten aber in der Regenzeit in den Tropen die Gewitterstürme und in den Übergangszeiten zwischen Regen- und Trockenzeiten die fürchterlichen Wirbelstürme (Taifun, Hurrikan, Tornado) auf, die alle mit einem enormen Sinken des Luftdruckes Hand in Hand gehen. In solchen Zeiten ist die Höhenmessung ganz besonders Irrtümern ausgesetzt und regelmäßige Barometerbeobachtungen an Standorten erwünscht.

Es liegt auf der Hand, daß man mit den Barometermessungen umso bessere Resultate erhält, je häufiger sie gemacht und aufeinander bezogen werden können, da dann die mittlere Lufttemperatur mit größerer Ge-

nauigkeit berechnet werden kann. Man sollte nie vergessen, Abends und Morgens im Lager den Luftdruck abzulesen, um eine Kontrolle zu haben, ob während der Nacht eine erhebliche Änderung des Druckes stattgefunden hat. Namentlich in den Subtropen ist man vor Überraschungen durch wandernde Cyklone nicht sicher, die z. B. während der Winterszeit bis ins Herz der Sahara eindringen und von trübem Wetter, ja selbst Regen begleitet zu sein pflegen. In der Kalahari können wandernde Anticyklone mit hohem Druck Fehler von ± 50 m verursachen. Wenn das Barometer nicht um 6 Uhr Morgens und 7½ Uhr Abends annähernd denselben Stand hat, ist der regelmäßige Gang des Luftdruckes gestört und Vorsicht bei Höhenmessungen notwendig.

Die für die kartographischen Aufnahmen mitzunehmenden Instrumente wären also:

1. Taschenkompaß.
2. Prismatischer Kompaß.
3. Zwei Aneroide.
4. Siedebarometer.
5. Entfernungsmesserprisma (20 Mark) oder großer Entfernungsmesser von Fueß, Modell A 2. (70 Mark.)
6. Theodolit oder Sextant.

III. Die Abhängigkeit der geologischen Verhältnisse in den Tropen und Subtropen von dem Klima und seinen Folgeerscheinungen.

Die klimatischen Verhältnisse der Tropen und Subtropen, Temperatur, Luftdruck, Winde und Niederschläge setze ich als bekannt voraus. Dagegen möchte ich auf die Folgeerscheinungen, Vegetation und Tierwelt kurz eingehen, soweit sie von Wichtigkeit sind.

Das Pflanzenkleid einer Gegend ist für den Geologen von größter Wichtigkeit, und zwar nicht die Arten, als vielmehr die Pflanzenformation. Von diesen sind wichtig:

1. Der tropische Wald mit dichtem geschlossenen Laubdach bei mindestens 1500 mm Regen oder auf sumpfigem Boden.

2. Die Savanne und Parklandschaft mit Grasflächen, Waldinseln, Baumgruppen und einzelnen Bäumen. Das Gras steht in einzelnen Büscheln. Auch lichter Buschwald ist häufig. 750—1500 mm Regen.

3. Die Steppen, die den Savannen gleichen, deren Vegetation aber viel xerophiler ist, niedrigeres hartes Büschelgras, knorrige kleinere Bäume mit hartem Laub, die oft einen lichten Buschwald bilden.

Die Grenze zwischen Steppe und Savanne mag bei 700—600 mm Regen liegen. Die Tropenzonen haben meist Savannen, die Subtropen meist Steppen,

allein es gibt auch tropische Steppen und subtropische Savannen. Die von dem Klima abhängige Beschaffenheit der Vegetation und, wie wir sehen werden, die des Bodens unterscheidet beide Pflanzenformationen.

4. Salzsteppen (= Halbwüsten) und Wüsten mit spärlicher xerophiler Vegetation, regenarm und abflußlos, daher mit salzreichen Böden. Die Verwitterung und Bodenbildung ist auch hier charakteristisch.

5. Der immergrüne Busch und Wald der subtropischen Winterregengebiete, der z. B. in den Mittelmeerländern entwickelt ist.

6. Die Hochgebirgsregionen mit Wald, Busch, Matten und Hochgebirgswüsten.

Die Tierwelt unserer Gebiete ist bisher von den Geologen sehr vernachlässigt worden und doch spielt sie in manchen Gegenden eine sehr wichtige Rolle. Vor allem handelt es sich um zwei Kategorien von Tieren, nämlich die Herdentiere und großen Säuger, die mechanisch auf die Oberfläche des Bodens einwirken, und ferner die Bodentiere, die im Boden leben, ihn durchwühlen, mechanisch und chemisch beeinflussen. Während die Tiere der ersteren Kategorie wohl ausschließlich den Säugetieren angehören, setzen sich die der zweiten aus allen möglichen Klassen zusammen und die Insekten und Würmer dürften nicht die geringste Rolle spielen.

Nicht unbeachtet bleiben darf auch der Mensch. Zwar ist seine direkte geologische Einwirkung gering oder fehlt vielleicht ganz, allein indirekt kann er durch Beeinflussung der Vegetation und Tierwelt bedeutsame Veränderungen hervorrufen.

Alle die genannten Faktoren wirken nun auf die Erdoberfläche der Tropen und Subtropen ein und bedingen ihre Gestaltung, indem sie auf Verwitterung, Bodenbildung und Ablagerung in entscheidender Weise Einfluß haben. Eine Fülle von noch ungelösten Problemen knüpft sich an diese Vorgänge an, so daß einem aufmerksamen Beobachter ein reiches Feld der Tätigkeit winkt. Wir wollen bei der Behandlung dieses Stoffes die verschiedenen Vegetationszonen und die in ihnen sich abspielenden geologischen Vorgänge der Reihe nach betrachten.

1. Geologische Beobachtungen in tropischen Waldgebieten.

Wichtig ist vor allem die Feststellung der Temperatur und zwar nicht bloß der Luft, sondern auch des Bodens, mit Rücksicht auf die chemischen Umsetzungen im Boden, und die Wirkung der Beschattung. Wenn auch in heißen Tiefländern keine wesentlich neuen Resultate herauskommen werden, so gewinnen systematische Temperaturbestimmungen sofort an Interesse, sobald man sie nach den Grenzen hin, d. h. in der Horizontalen nach trockeneren, in der Vertikalen nach kälteren Regionen hin anstellt. Für die Änderungen der Zersetzung und Bodenbildung könnte man wichtige Aufklärung verschaffen.

Im Verein mit Temperaturbeobachtungen sollte man nicht systematische Bestimmungen der Niederschläge und Luftfeuchtigkeit versäumen, da sie gleichfalls Zersetzung und Bodenbildung bedingen. Bekanntlich ist das typische tropische Verwitterungsprodukt ein roter Lehm, der oft zellige Brauneisensteinausscheidungen enthält. Es scheint, daß im Rotlehm Tonerdehydrate die Hauptrolle spielen, im Gegensatz zu den Tonerdehydrosilikaten der gemäßigten Zone. Allein das Problem der Eisenführung wird damit nicht erklärt. Bis zum heutigen Tage ist es ein Rätsel, warum die Eisenverbindungen rot sind, warum sie sich in zelligen Massen konzentrieren und dann den „Laterit" bilden. Vielleicht spielt die salpetrige Säure eine Rolle, indem sie zur Entstehung der sogenannten „Roten Hydrate" des Eisens führt. Es mangelt immer noch an umfangreichen Bestimmungen des Gehaltes der Gewitterregen an HNO^2 und NH^3, und es wäre sehr verdienstlich, Analysen in größerer Zahl in verschiedenen Gegenden auszuführen.

Vielleicht spielt aber auch eine Rolle die Armut an Humussäuren, die bekanntlich die Eisenoxydsalze gut lösen, ebenso wie die Silikate, speziell Kieselsäure. Es möchte mir scheinen, daß das Fehlen der Humussäureverwitterung ganz wesentlich ist für die Entstehung der eisenreichen tropischen und subtropischen Verwitterungsprodukte. Das Fehlen der Humussäure erklärt sich durch die energische Vernichtung abgestorbener organischer Körper, besonders der Blätter durch die Bakterien und durch Tierfraß. Daher fehlt dem Boden des Urwalds die Humusschicht unserer Wälder, oft ist der Boden zwischen den Baumriesen kahl, und selbst dicke Baumstämme zerfallen in kurzer Zeit und ihre Substanz wird bis auf die Aschenreste vergast. Es wäre sehr wünschenswert, der Humusfrage im tropischen Urwald vollste Aufmerksamkeit zu schenken und fortlaufende Beobachtungen über Humusführung, verrottete Vegetation, nackten Lehmboden u. s. w. zu machen.

Die zellige Struktur hängt höchst wahrscheinlich mit der Zirkulation des Regenwassers im Verlauf des Wurzelwerks zusammen. In Südamerika konnte der Verfasser wiederholt beobachten, daß sich dünne Wurzeln im Bereich der eisenreichen Partien durch zellige Rotlehme zogen. Im heutigen Orinokoschlamm aber wird durch Blätter, feine Äste, Wurzeln etc., die in jenem abgelagert werden, eine primäre zellige Struktur erzeugt. In der Umgebung der organischen Einschlüsse ist der Lehm mit gelbrotem Eisenhydroxyd erfüllt, so daß der Schlamm der Struktur noch zelligem Rotlehm ähnelt. In solchen geht der heutige Orinokoschlamm auch nach unten hin tatsächlich über. Es wäre von Interesse, die Beteiligung organischer Körper — Wurzelwerk u. s. w. — bei der Entstehung der zelligen Struktur näher zu studieren, namentlich auch mit Rücksicht auf eine eventuelle von manchem vermutete Beteiligung von Bakterien.

Die rote Farbe findet ihre Erklärung vielleicht darin, daß während der Trockenzeit der Boden bei großer Hitze austrocknet und die Eisenhydroxydverbindungen dadurch chemisch gebundenes Wasser verlieren und in wasserarme rot gefärbte Hydrate übergehen.

Ein Wort noch über den Laterit, d. h. den echten ostindischen Laterit!

Man kann nicht scharf genug gegen den Irrtum Front machen, der Name Laterit deute auf die rote Ziegelfarbe hin. Laterit d. h. Ziegelstein wurde von Buchanan die rote Erde mit zelliger Struktur genannt, die in Südindien mit dem Spaten gestochen und zu Ziegeln geformt wird und sich beim Austrocknen in einigen Monaten in braunschwarzen, harten, zelligen Brauneisenstein verwandelt. So entstehen die unverwüstlichen Ziegelsteine, mit denen man die großen Bauten aufführt. Das ist der echte Laterit, der diese höchst interessante und noch gar nicht erklärte Umwandlung durchmacht, während bei den Roterden diese Umwandlung fehlt. Dieser echte Laterit ist in großem Umfange bisher nur aus Indien und Ceylon beschrieben worden, er soll aber auch in Nordsumatra und in Westafrika vorkommen. Auch die eisenschüssigen relativ jungen Schotter im kapländischen Faltengebirge erhärten in gleicher Weise. Es wäre höchst interessant, festzustellen, ob auch anderswo der echte indische Laterit vorkommt und wie er entsteht. Wie mir Professor Abegg mitteilte, könnten geringe, aber fein verteilte Mengen gallertiger Kieselsäure solche Verhärtung beim Austrocknen bewirken. Man kann es nur tief bedauern, daß infolge der Identifizierung von Roterde und Laterit das „Lateritproblem“, das in der Umwandlung des zelligen Rotlehms in harten Brauneisenstein gipfelt, entschieden vernachlässigt worden ist.

Im tropischen Wald sollte man genaue Beobachtungen über die Bodenvegetation anstellen. Ist dieselbe dicht oder fehlt sie, so daß der kahle Boden zu Tage tritt? Letzteres ist zweifellos oft der Fall, allein in welchem Umfang? Ist der Mangel an einer Bodenvegetation Regel? Die Beantwortung dieser Frage ist von großer Bedeutung für die Wassererosion. Kahlen Boden kann abfließendes Regenwasser ganz anders erodieren als dicht bewachsenen, und außerdem stellen sich auf kahlem Boden viel leichter Bodentiere ein, Ameisen und Termiten vor allem, die Haufen aus lockerem Material aufhäufen, das leicht fortgewaschen werden kann. Hand in Hand mit solchen Beobachtungen gehen die über die Art und Weise, wie der Regen auf den Erdboden gelangt. Wirkt das Blätterdach erosionshindernd oder umgekehrt befördernd? Das letztere ist nicht so absurd, als es scheinen könnte, da ja bei uns der Wald zweifellos die Wucht des Regens bricht. Daher flüchtet man sich in den Schutz des Laubdaches. Allein in den Tropen ist die Sache anders. Einmal können die Tropfen aus den Kronen der hochstämmigen Baumriesen mit großer Wucht herabfallen und außer-

dem sind die Blätter meist so eingerichtet, daß sie in eine lange Spitze auslaufen, so daß der Regen schnell von der überdies meist glatten Oberfläche abläuft, also in Strahlen auf den Boden herabstürzen kann. Daß dann der Erosionseffekt am Boden ein erheblicher werden kann, leuchtet wohl ein. Solche Beobachtungen könnten wesentlich beitragen zu der Beantwortung der Frage, in welcher Weise die Abtragung in tropischen Waldgebieten vor sich geht. Erfolgt dieselbe vorwiegend im Verlauf der erodierenden Wasseradern, oder auch flächenhaft? Ist letzteres in erheblichem Umfang der Fall, so muß die Abtragung der Tiefenzersetzung entgegenarbeiten. In feuchtwarmem Klima kann letztere oft bekanntlich sehr bedeutend werden. In Brasilien z. B. soll das der Fall sein. Auffallenderweise ist die Tiefenzersetzung auf den mit Urwald bedeckten Bergen Guyanas nach den Beobachtungen des Verfassers nicht bedeutend, während gleichzeitig die Bodenvegetation gering entwickelt ist. Es wäre von großem Interesse, über das Verhältnis zwischen Bodenvegetation, Tiefenzersetzung und Abtragung in tropischen Wäldern Beobachtungen zu sammeln. Experimentelle Beobachtungen, namentlich über die Abtragung während starker Regen wären sehr erwünscht.

Von großem Interesse sind Untersuchungen über den Nährstoffgehalt der Urwaldböden. Diese scheinen ganz außerordentlich ausgelaugt zu sein, namentlich mangelt es an Kali, Phosphor und Kalk, während Stickstoff relativ reichlich ist. Praktisch wichtig sind solche Untersuchungen für den Landwirt, allein auch der Geologe wird durch sie auf die Frage aufmerksam gemacht, ob diese Böden wegen ihres hohen Alters ausgelaugt sind oder ob die auslaugende Wirkung der tropischen Niederschläge nach Menge und Gehalt an lösenden Stoffen ganz besonders groß ist. Die Frage ist deshalb berechtigt, weil manche Botaniker die Beschaffenheit der heutigen Tropenflora durch eine sehr lange ungestörte Entwicklung erklären wollen. Eine solche müßte aber auch auf den Boden gewirkt haben. Welches wäre denn das lösende Agens? Kohlensäure? Salpetrige Säure? Sollte man nicht erwarten, daß die Humussäuren bei uns mindestens eine gleich starke Auslaugung bewirken?

Wenn gesagt wurde, daß in den tropischen Wäldern Humusbildungen so gut wie fehlen, so ist damit nicht gesagt, daß in den Tropen Humusbildung und -ablagerung überhaupt nicht vorkämen. Sicher sind sie vorhanden. In Sümpfen entsteht infolge des Luftabschlusses unter Wasser auch Moorerde, so z. B. in den Morichalen der Llanos. Auch die Schwarzerde Indiens — Regur — scheint nicht, wie v. Richthofen meint, äolischen Ursprungs, sondern alter Sumpfboden zu sein, wie Walther fand, der diesen Boden selbst gesehen hat. Eine geologisch äußerst wichtige Frage knüpft sich an das Vorkommen von Humusböden in den Tropen, nämlich nach der Entstehung der Braunkohlen und Steinkohlen. Ist

es wirklich notwendig anzunehmen, daß sich die Steinkohlen nur in gemäßigtem bis kaltem Klima bilden konnten? Dann hätte in der Karbonzeit am Sambesi, in der Karruzeit (Ende des Paläozoikums und älteres Mesozoikum) am Nyassa und am Stephaniensee, in der Jurazeit im Thianschan, Ostsibirien, Amurland und ganz China, Hinterindien, Japan, Insulinde, Queensland, Neuseeland, ein kühles gemäßigtes Klima geherrscht. Nun sind aber die Braunkohlen des Tertiärs in subtropischem Klima entstanden. Warum sollten in den Tropen unter den gleichen Bedingungen nicht auch Kohlen entstehen? Daß man dort Humusablagerungen von bedeutender Mächtigkeit nicht kennt, besagt noch nichts, denn auch in den kühleren Regionen gibt es heutzutage keine so mächtigen Bildungen, daß sie Kohlenflöze liefern könnten, wie die mächtigen Braun- und Steinkohlenflöze. Ich meine, daß, wenn in den Tropen die Bildung von modernen Humusschichten, aus denen einmal Kohlen entstehen könnten, überhaupt mit Sicherheit nachgewiesen sind, die Frage, ob in den Tropen sich Kohlen bilden können, prinzipiell bejaht werden muß. Es wäre eine dankenswerte Aufgabe in Sumpfwäldern, z. B. in Deltas, im Bereich von Seen und Sümpfen nach Humusablagerungen zu fahnden und Material zu dem wichtigen „Kohlenproblem" zu liefern.

2. Beobachtungen in Savannen und Steppen.

Der Wald erreicht seine natürliche Grenze bei ca. 1500 mm Niederschlag. Wird er durch den Menschen vernichtet, so tritt Parklandschaft und Savanne an seine Stelle. Wenn es auch keine speziell geologische Frage ist, ob nämlich die Parklandschaft — Grasland mit Waldinseln und Baumgruppen — überhaupt eine natürliche Pflanzenformation ist oder ein Erzeugnis des Menschen, entstanden durch Waldverwüstung, Grasbrände u.a., so kann doch jeder aufmerksame Beobachter Beiträge zu ihrer Beantwortung bringen und deshalb sei hier auf das Problem kurz hingewiesen.

Für den Geologen wichtig ist, ebenso wie in dem Waldland, die Ermittlung von Temperatur und Niederschlag. Namentlich interessieren auch die Bodentemperaturen, im Vergleich mit denen in Wäldern. Bei der Vegetation ist wichtig die Art und Weise, wie sie den Erdboden bedeckt. Ausnahmsweise nur wird sie als geschlossene Decke erscheinen. In tiefgelegenen periodisch überschwemmten oder dauernd feuchten Niederungen können Wiesen sich entwickeln, die wie unsere Wiesen geschlossene Rasen bilden, so z. B. in den Potreros der Llanos. Gewöhnlich aber stehen die Grasbüschel getrennt. Der nackte Boden tritt zwischen ihnen zu Tage. Die Bäume aber stehen selbst da, wo sie einen Buschwald bilden, so weit auseinander, daß ein geschlossenes Blätterdach nicht zu stande kommt. Bilden sie aber geschlossene Gruppen und Busch-

werk, so ist in ihrem Bereich der Boden meist arm an Gras oder selbst ganz nackt und kahl.

Die Beschaffenheit der Pflanzendecke hat deshalb große Bedeutung, weil sie auf die Form der Verwitterung, Bodenbildung und Abtragung von Einfluß ist. Zunächst können die Niederschläge, wenig behindert durch die Vegetation, auf den Boden fallen, ein für die Erosion wichtiger Umstand. Sodann ist der Boden weniger beschattet, die Bodenfeuchtigkeit kann also schneller verdunsten, der Boden ausdörren. Ferner sind die Böden der Savannen und Steppen von zahllosen Tieren bewohnt. Insekten, Würmer, kleine Säuger spielen die Hauptrolle. Alle diese Tiere durchwühlen den Boden, häufen lose Auswurfsstoffe an der Oberfläche an, durchmischen und durchlüften den Boden. Dadurch wird die Zirkulation von Luft und Wasser und damit die Oxydation der organischen Reste begünstigt, die Bildung humoser Stoffe verhindert. Anderseits aber wird der Boden mit Exkrementen gedüngt und manche Tiere, wie Ameisen, Regenwürmer u. a., schaffen große Mengen von Vegetabilien in den Boden, müssen also die Humusbildung begünstigen. Infolge des Einzelstehens der Gräser und des Zutagetretens des Bodens kann der Wind während trockener Perioden wirken. Die aufgehäuften lockeren Auswurfsmassen der Tierwelt werden verweht, zumal dann, wenn Herdentiere mit ihren Hufen sie zerstäuben.

Wie verläuft nun die Verwitterung und Bodenbildung? Die Verwitterungsprodukte der regenreichen Savannen sind Rotlehme, die auch zellige Struktur annehmen und zellige Brauneisensteinkonkretionen enthalten können. Man achte auf die Beträge, die die Tiefenzersetzung in Savannen erreichen kann, ferner ob nicht die Abtragung zuweilen schneller arbeitet, indem Wasser und Wind denudierend wirken. Das kann man unter Umständen daran erkennen, daß der Boden steinig und die Tiefenzersetzung gering ist, weil die feinerdigen Verwitterungsprodukte sich nicht anhäufen können. Wichtig sind Beobachtungen über die Sandhaut, die in einer Dicke von 1—3 cm den Boden der Savannen bedecken kann und als Rest der von den wühlenden Tieren heraufgebrachten, verwehten und verschwemmten Erdmassen gelten muß. Die so entstehenden Sande können in Niederungen herabgeschwemmt werden und dort Anhäufungen bilden, so z. B. in den Llanos. Wichtig wäre es vor allem zahlenmäßig festzustellen, wieviel Material die Tiere jährlich etwa liefern und in welcher Zeit seine Fortschaffung erfolgt. Damit erhält man einen Anhalt für den Betrag der flächenhaften Abtragung.

Interessant ist das Verhalten der Regenwürmer. Wo diese in großen Massen auftreten, so daß der Boden von ihnen stark beeinflußt wird, geht die rote in die braune bis graubraune Farbe über, die auf Reduktion der Eisenverbindungen und wohl auch Humusbildung zurückzuführen ist. Dasselbe ist oft der Fall in feuchten, zeitweise überschwemmten Niede-

rungen und im Alluviallehm der Flüsse. Es wäre von Interesse, experimentell die Wirkung der Regenwürmer auf Rotlehm zu untersuchen.

Mit der Abnahme der Niederschläge verwandeln sich die Savannen in Steppen, indem die Vegetation xerophiler und gleichzeitig meist niedriger und spärlicher wird. Der Botaniker kann keine scharfe Grenze zwischen beiden Formationen ziehen, vielleicht gelingt dies aber besser dem Geologen. Das typische Verwitterungsprodukt der Savannen nämlich ist der Rotlehm, das der Steppen ein rötlicher feiner erdiger Sand oder Staubboden. Der Wechsel in der Bodenbildung erfolgt unter folgenden Umständen. Indem die Niederschläge und die Dichte der Vegetationsdecke abnehmen, wird der Boden immer mehr der Insolation und damit der trockenen Verwitterung ausgesetzt. Die Berge besonders liefern infolgedessen staubige und sandige Verwitterungsprodukte, die in die Niederungen hinab geweht und geschwemmt werden. Gleichzeitig nimmt die feuchte Verwitterung, die die Rotlehme liefert, ab, indem sie auf immer kürzere Zeit beschränkt wird. Die Windwirkung dagegen im Verein mit der wühlenden Tätigkeit der Bodentiere und der zerstäubenden Wirkung der Herdentiere wächst mit der größeren Trockenheit. Infolgedessen wird die obere Bodenschicht auch da, wo sie ursprünglich lehmig ist, in Sand umgewandelt, indem die feinerdigen Bestandteile ausgeblasen werden. So herrschen die sandigen Böden von rötlicher Farbe in zahlreichen Steppen vor, aber auch rote Staubböden sind keine Seltenheit, indem der Staub aus Gebieten der Abtragung kommt und von der Steppenvegetation festgehalten wird. Solche Staubböden finden sich z. B. streckenweise in der Karru und den Hochsteppen der Atlasländer. Sie weichen ihrem Äußeren nach erheblich von dem chinesischen Löß der gemäßigten Breiten ab, der das Verwitterungsprodukt eines gemäßigten Klimas ist.

Steppengebirge zeigen meist deutlich eine Mischung von feuchter und trockener Verwitterung. Abtragung überwiegt häufig über die Anhäufung und Aufschüttung, allein die Verhältnisse wechseln sehr. Erstere dokumentiert sich durch steinigen, letztere durch feinerdigen Boden.

Sehr wichtig sind Beobachtungen über die Art der Abtragung. Muß man dem Wind, muß man den heftigen Regengüssen auf den vegetationsarmen Flächen den Hauptanteil an der Abtragung zuschreiben? Genaue direkte Beobachtungen sollte man in möglichst großer Zahl und mit möglichster Genauigkeit sammeln.

Je niederschlagsärmer die Steppen werden, umsomehr wird die Vegetation reduziert, umso schwächer wird die Lehmbildung und Tiefenzersetzung, umso stärker die Erosion durch die meist kurzen, aber dicht fallenden Regen, umso häufiger auch der Mangel an Trinkwasser für die in ursprünglichen Verhältnissen reichlich vorhandenen Säugetiere. Wenn das oberflächliche Wasser

schwindet, können große Tiere, bei dem Versuche sich Trinkwasser zu verschaffen, in die Erdoberfläche tiefe Löcher auswühlen, Kolke bilden, in denen sich Regenwasser oder Quellwasser ansammelt. So sind die Krater der Kalkpfannen und die Sandpfannen in der Kalahari zum Teil ein Werk der Säugetierwelt. Ähnliche Hohlformen werden den Büffeln der Prärien zugeschrieben, auch in anderen Steppengebieten dürften sie eine Rolle spielen oder gespielt haben. Es wäre von hohem Interesse, nicht nur solche Beobachtungen zu machen, sondern auch Daten zu sammeln, aus denen sich die Zeit berechnen ließe, die Tiere zur Herstellung der Hohlformen gebraucht haben. Zu diesem Zweck müßte man die Zahl der Tiere, die zur Tränke kommen, sich baden und sielen, sowie den Betrag jährlicher Erosion abschätzen. Es ist freilich fraglich, ob es heutzutage überhaupt noch Gebiete gibt, die so unberührt sind, daß man in ihnen derartige Beobachtungen anstellen könnte. Vielleicht geht das noch in dem Übergangsgebiet von Sahara und Sudan.

Derartig sind also die Verhältnisse in Savannen und Steppen. Wo könnte man zwischen beiden eine Grenze ziehen? Vielleicht würde es sich empfehlen, alle relativ niederschlagsreichen Gebiete, in denen aus kristallinen Gesteinen vorwiegend lehmige Boden entstehen, Savannen, solche, wo sandige Ablagerungen entstehen, dagegen Steppen nennen. Der Ton liegt auf dem Wort: kristalline Gesteine. Denn diese sind es, die je nach dem Klima lehmige oder sandige Verwitterungsprodukte liefern. Reine Sandsteine können nur sandigen, reine Ton- und Kalksteine nur tonigen und kalkigen Boden liefern. Letzteres ist z. B. in der Karru der Fall im Bereich der Karruformation. Sobald das Dwykakonglomerat und kristalline Gesteine beginnen, ist auch sofort der Sandboden da. Der Tonboden ist das Gebiet der baumlosen Karrusteppe, der Sand die Region der pflanzengeographischen Kalahariformation. Ich vermute, daß ähnliche Verhältnisse im Somalilande zu finden sind und daß die Sukkulentensteppe dem Tonboden, der Buschwald dem Sandboden entspricht.

Wo mächtige Sandmassen aufgeschüttet sind, wie in der Nordkalahari, können die Verwitterungsprodukte natürlich auch nicht zur Unterscheidung herangezogen werden. Allein auch in solchen Gebieten pflegen Gesteinspartien zu Tage zu treten und deren Verwitterungsform wäre dann maßgebend.

Es handelt sich für zukünftige Forscher darum, einmal festzustellen, ob sich eine Unterscheidung von Savannen und Steppen nach dem Boden überall in großen Zügen durchführen läßt, wobei man natürlich auf Übergangszonen Rücksicht nehmen muß, und ferner, bei welcher Niederschlagshöhe der Übergang zu erfolgen pflegt. Ich möchte glauben, daß unter Umständen selbst bei 750 mm schon Steppensande entstehen und anderseits noch bei 400—500 mm oder noch weniger Lehme. Beobachtungen nach dieser Richtung an kristallinen Gesteinen wären sehr wünschenswert.

Von großem Interesse sind die Bildungen von Salzpfannen in den Steppen. Diese entstehen da, wo die Niederschläge nicht mehr genügen, um einen Abfluß zu erzwingen. Dann sammelt sich das Regenwasser mit seinen Salzen und mechanischem Sediment, verstärkt eventuell durch salzhaltiges Grundwasser, in Vertiefungen an. Oft genug ist das Areal, aus dem eine Salzpfanne ihr Material erhält, nicht sehr groß, die Pfannen folgen sich schnell aufeinander. Dabei kann die Gesteinsbeschaffenheit in dem jeweiligen Areal, aus dem die Pfanne die Salze bezieht, recht verschiedenartig sein und infolgedessen auch die Zusammensetzung der Salze. Daß letzteres der Fall ist, ist bekannt. Warum aber in dem einen Fall diese, in anderem Fall jene Salze, nämlich meist Sulfate, Karbonate und Chloride der Alkalien und alkalischen Erden überwiegen, darüber fehlen systematische Untersuchungen noch vollständig. Es wäre sehr wichtig, solche anzustellen.

3. Salzsteppen und Wüsten.

Die abflußlose Salzpfannen enthaltenden Steppen gehen bei weiterer Abnahme der Niederschläge über in Salzsteppen und Wüsten. Der Unterschied zwischen Steppen und Salzsteppen beruht hauptsächlich auf der Form der Verwitterung und Ablagerung der Salze. Salzpfannen sind an sich noch nicht für Salzsteppen charakteristisch, solange die Niederschläge genügen, die bei der Verwitterung entstehenden Salze nach der Tiefe oder Seite abzuführen, entweder nach Salzpfannen oder in die Tiefe, daß sie dauernd von der Oberfläche verschwinden. Bei einer bestimmten Niederschlagshöhe tritt aber eine Änderung ein. Brennt nämlich die Sonne nach dem Regen auf die Erde, so wird diese erwärmt, trocknet aus, das eingedrungene Wasser verdunstet, die gelösten Salze scheiden sich in den oberflächlichen Schichten aus oder effloreszieren direkt an der Oberfläche mit der kapillarisch emporsteigenden Feuchtigkeit. Es wäre von hohem Interesse festzustellen, bei welcher Niederschlagsmenge die Salzabscheidung in den oberflächlichen Bodenschichten beginnt. Blankenhorn meint bei 600—200 mm. In den russischen Steppen erfolgt Kalkabscheidung einige Dezimeter unterhalb der Erdoberfläche schon bei 300—400 mm. In Oran ist die Kalkkrustenbildung an der Oberfläche bei 600—500 mm lebhaft, ebenso in Palästina. Allein solche Zahlen beweisen nichts. Denn es kommt nicht auf die absolute Regenmenge an, sondern auf die der heißen Zeit, wo die Sonne gleich nach dem Regen die Erdoberfläche erhitzt und bei langen heißen Dürreperioden auch die Grundfeuchtigkeit zum Aufsteigen genötigt wird. Tatsächlich haben ja die südrussischen Steppen und die Mittelmeerländer hauptsächlich im Winter Niederschläge, im Sommer aber nur heftige Gewitterregen. Letztere dürften entscheidend sein. Jedenfalls gibt es große Gebiete in den Tropen und Subtropen, die kaum 400 mm haben, und

doch keine Salzsteppen sind, wie z. B. die mittlere Kalahari, Damaraland, Teile des Betschuanenlandes und Grikwalandes. Ich möchte vermuten, daß bei Sommerregen und großer Hitze die Salzsteppenbildung etwa bei 300 mm beginnt. Beobachtungen hierüber wären sehr erwünscht, vor allem auch über die näheren Umstände, unter denen sich Salzsteppen bilden, wie die Verteilung und Dichte der Niederschläge ist, wie tief sie eindringen u. a.

Wie äußern sich nun die Salzausblühungen? Der erste Anfang der Effloreszenz von Salzen findet sich bereits in den Tropen auf zu Tage tretenden Felsmassen. Sie besteht in der Ablagerung und Auflagerung von Eisen und Manganoxyden in resp. auf den oberflächlichsten Gesteinspartien — Eisenrinden. Außerordentlich auffallend ist diese Erscheinung in Flußbetten, in der Zone zwischen Tiefstand und Hochstand des Wassers. Da entstehen glänzende schwarze Rinden und es ist immer noch nicht mit Sicherheit festgestellt, ob nur Effloreszenz oder auch Abscheidung von Salzen aus dem Flußwasser stattfindet. In den Savannen und Steppen ist die Bildung von Eisenrinden sehr energisch, da dort Regen und Sonnenschein schnell wechseln. Der Höhepunkt wird aber in den Salzsteppen und Wüsten erreicht, wo sich selbst weiße Gesteine mit tief schwarzen, glänzenden dünnen Rinden überziehen. Es ist zu untersuchen, ob dort die spärlichen Regen allein ein Ausblühen der Mangan- und Eisensalze veranlassen, oder ob nicht Salzstaub, der die Felsen bedeckt und hygroskopisch Wasser anzieht, bei der Bildung beteiligt ist.

Viel wichtiger ist nun aber das Effloreszieren von Salzen, die in Gesteinen und im Erdboden selbst entstehen und ausblühen. Diese Salzbildungen sind es, die für die Salzsteppen charakteristisch sind. Es handelt sich wieder um die Sulfate, Chloride und Karbonate der Alkalien und alkalischen Erden. Die Alkalien sind am löslichsten, sie blühen zwar in Menge aus und erfüllen die oberflächlichen Erdschichten, allein immer wieder werden sie vom Regenwasser schnell gelöst, vom Platzregen fortgeschwemmt und schließlich in Salzpfannen abgelagert, nachdem sie vielleicht eine Zeitlang wiederholt mit dem zirkulierenden Wasser auf und ab gewandert sind. Sie stellen das leicht bewegliche Element vor, das nicht zur Ruhe kommt, wie wir sehen werden, selbst nicht einmal in den Salzpfannen.

Anders steht es mit den alkalischen Erden, vornehmlich Kalkkarbonat und -sulfat. Beide sind schwerer löslich und scheiden sich schneller ab. Infolgedessen häufen sie sich in den oberflächlichen Lagen der Erde und der Gesteine und auf ihrer Oberfläche an und bilden Kalk- und Gipskrusten von eigentümlicher Rinden- und Breccienstruktur. Sie sind erfüllt von den Bestandteilen des Erdbodens und zerfallenem Gesteinsschutt. Nach Blankenhorn finden sich in Ägypten die Kalkkrusten im Norden im Bereich der Zone mit mehr als 200 mm Regen, dann folgt eine Zone der Gipskruste

und schließlich eine Region, in der die zerplatzten Gesteinstrümmer unverkittet daliegen. Es ist zu untersuchen, ob solche Verhältnisse Regel sind. Ich möchte glauben, daß die Gipskrusten nur deshalb in Ägypten eine solche Rolle spielen, weil Gips a priori in Mengen in den marinen tertiären Sedimenten vorhanden ist, daß er sich aber in indifferenten Gesteinen nicht in solchen Mengen bildet. Studien über diese Krusten könnten wohl noch manches interessante Resultat ergeben, zumal es ja nicht ausgeschlossen ist, daß sich solche Bildungen auch fossil finden und dann wertvolle Fingerzeige für das damalige Klima geben würden.

Wie kommt es nun aber, daß eine so energische Salzbildung in den regenarmen heißen Klimaten stattfindet? Woher der gewaltige chemische Zersetzungsprozeß? Das ist ein interessantes Problem, das vielleicht auf folgendem Wege seine Lösung findet. Die leicht beweglichen Salze der Alkalien, die auf dem Erdboden, auf Gesteinen, auf der Oberfläche der Salzpfannen ausblühen, werden vom Winde verweht. Auf den Salzpfannen geht der Prozeß der „Entsalzung" beständig vor sich, nur durch periodische Überschwemmungen unterbrochen.

Die verwehten Salze werden nun von den Niederschlägen natürlich gefaßt, gelöst und wieder in die Erde und in die Gesteine geführt. Mit Sulfaten, Karbonaten und Chloriden erfülltes Wasser zersetzt aber die Gesteine viel energischer als gewöhnliches Regenwasser. Daher wohl die gewaltige Zersetzung und Salzbildung im Bereich der Salzsteppen. Untersuchungen hierüber, namentlich auch Analysen des Staubes, des abfließenden Regenwassers wären sehr instruktiv. Die Salzsteppen sind wahrscheinlich auch die Region, in der sich die Verkieselungsprozesse hauptsächlich abspielen. Die Alkalikarbonate lösen die Kieselsäure auf und diese kann sich einerseits durch Verdunstung direkt abscheiden und z. B. Sand einkieseln, oder sie scheidet sich in Berührung mit Kalk ab, indem letzterer gleichzeitig in Lösung geht. So entsteht die Verkieselung. Hornstein, Feuerstein, Chalcedonbildungen sind in den Salzsteppen, Ägyptens z. B., in großem Umfang vorhanden, aber auch Kieselsäureabscheidungen in Sanden. Man hält sie für Produkte heißer Quellen, allein eine hohe Temperatur des Wassers ist nicht nötig. Beobachtungen über Verkieselung und Einkieselung, namentlich auch mikroskopische Untersuchungen sind wertvoll, zumal man aus solchen Verkieselungen in geologischen Formationen unter Umständen wichtige Schlüsse ziehen darf. Die Vegetation steht in Salzsteppen bereits so zerstreut, daß sie dem Winde und Regen bezüglich der Abtragung wohl selten Widerstand entgegensetzt, auch nur wenig zur Anhäufung von Staub Veranlassung gibt. Im Gegenteil dürfte sehr viel Staub entstehen und ausgeführt werden infolge mechanischen Zerfalls der Gesteine.

Wie steht es aber mit der Tierwelt? Mindestens periodisch werden die Salzsteppen von Herden von Säugetieren bewohnt, falls nicht der Mensch

sie ausgerottet hat. Ihr mechanischer Effekt dürfte bedeutend sein. Auch Bodentiere dürften eine Rolle spielen, allein es ist fraglich, ob sie regelmäßig und in großer Zahl zu finden sind, und ob nicht Kalk- und Gipskrusten ihr Auftreten stark einschränken. Beobachtungen hierüber wären wertvoll.

Die Salzsteppen gehen allmählich in die Wüsten über. Wo liegt die Grenze? Ich möchte glauben, daß das Vorherrschen oder Zurücktreten der chemischen Zersetzung, die die Niederschläge veranlassen, für die Abgrenzung benutzt werden kann. Wo die Kalk- resp. Gipskrusten nachlassen und die Schuttbildung ohne Verkittung überwiegt, sollte man die Wüste beginnen lassen; denn die Ursache für die Veränderung der Bodenbildung ist die Abnahme der Niederschläge, die zu unregelmäßig und spärlich fallen, als daß die chemische Zersetzung der Gesteine noch im Gang bleiben könnte. Nur die Schutzrindenbildung erhält sich, wie Link meint, infolge der Taubildung auf den Gesteinen, der Salze und des Salpetersäure- und Ozongehaltes der Luft.

Ferner entstehen auch weiterhin die leichtlöslichen Salze der Alkalien, die wohl auch vom Winde fortgeblasen und in Salzpfannen zusammengeschwemmt werden, jedoch auch in den Gesteinen bleiben oder auf Spalten sich abscheiden. Insofern gleicht die Wüste den Salzsteppen, nur daß die schwerer löslichen alkalischen Erden, vor allem Kalkkarkonat und Gips nicht mehr wandern, ausblühen und Krusten bilden können.

Es ist zu untersuchen, ob die Salzbildung — und das sollte man annehmen — wesentlich geringer ist als in den Salzsteppen, weil die chemische Zersetzung infolge der viel spärlicheren Niederschläge geringer ist. Welches ist ferner die Zusammensetzung der Salze? Spielen Alkalikarbonate eine große Rolle? Ist das der Fall, so müßte beim Zunehmen der Niederschläge eine lebhafte Verkieselung und Einkieselung beginnen. Wie steht es mit der Verkieselung in den niederschlagärmsten Regionen überhaupt, z. B. in der zentralen Sahara?

In der Wüste erreicht der mechanische Zerfall der Gesteine seinen Höhepunkt, namentlich bei bedeutender Meereshöhe, wo Nachts die Kälte mitwirkt. Die Zerfallsprodukte sind Staub, Sand und kleinerer oder größerer Gesteinsschutt. Letzterer bildet auf ebenen Flächen die Hammadas und Sserirs. Die Frage ist aber noch nicht entschieden, ob die Hammada, die aus eckigen Fragmenten besteht, sich im Laufe der Zeit infolge des Sandschliffes in eine Sserir, deren Geröll abgerundet ist, umwandeln kann, oder ob letztere nicht ehemalige Schottern sind. Das scheint wenigstens vorzukommen, vielleicht häufiger als man denkt. Jedenfalls ist eine genaue Untersuchung in jedem einzelnen Fall am Platz.

Eine ganze Reihe wichtiger Fragen ist noch ungeklärt. Was spielt bei der Abtragung die größere Rolle, Ablation oder Korrasion? Bekanntlich hat J. Walther der Windablation, der er, meiner Meinung nach sehr überflüssiger-

weise, einen neuen Namen, Deflation, gegeben hat, der Korrosion gegenüber als Beherrscherin der Wüste gefeiert. Beobachtungen hierüber sind sehr notwendig. Die Ablation durch einfachen Wind leugnen zu wollen, wäre sicher falsch. Allein es erscheint mir sehr zweifelhaft, ob sie eine so wichtige Rolle spielt. Nach meinen bisherigen Beobachtungen, z. B. am Nordrand der Sahara und anderen Orten, muß ich das ganz entschieden leugnen. Die feine Abschuppung und Abblätterung, der feinkörnige staubige Zerfall der Gesteine ist nur lokal und selten zu beobachten. Jene sind aber die Vorbedingung für die energische Wirksamkeit der Ablation. Dagegen sind Spuren der Korrasion, des Windschliffs fast überall in erheblichem Umfang sichtbar. Nach meinen Beobachtungen verhalten sich Ablation und Korrasion genau umgekehrt als Walther es darstellt. Vielleicht erklärt sich der Widerspruch dadurch, daß Walther vorwiegend in Gebieten Studien gemacht hat, die aus marinen Schichten bestehen, in denen von Beginn an marine Salze stecken. Daß solche Salze auch ohne die relativ hohen Niederschläge der Salzsteppenregion nur infolge der spärlichen Niederschläge, der Taubildung und hygroskopischen Anziehung des Wasserdampfes das Gestein zerstören, es beim Ausblühen abblättern, kurz so mürbe machen. daß der Wind es fortbläst, ist nicht nur denkbar, sondern von Walther direkt beobachtet worden. Die bekannte „Verwitterung von innen heraus" gehört auch hierher. Nur Beobachtungen in verschiedenen Gebieten unter verschiedenen Bedingungen können die Streitfrage lösen.

Eine andere Streitfrage ist die nach der Abtragung in Wüsten. Wer arbeitet stärker, der Wind oder die zeitweiligen Platzregen? Ist die Bedeutung des Windes als abtragendes Agens wirklich so bedeutend, wie Walther es schildert? Viele Forscher leugnen das und warnen dringend vor der Überschätzung der Tätigkeit des Windes, während die seltenen, aber dichten Platzregen ganz gewaltig erodieren sollen. Gewiß haben die Wolkenbrüche in den vegetationslosen Regionen eine enorme Gewalt und schaffen gewaltige Schuttmassen fort. Allein sie erodieren hauptsächlich nach der Vertikalen, nicht flächenhaft. Und doch ist es zweifellos, daß in den Wüsten ausgedehnte flächenhafte Erosion stattfindet. Das beweisen unter anderem die Zeugenlandschaften, die Hammada- und Sserirflächen. Das Wasser kann solche Ebenen nicht schaffen, denn es sind nicht Aufschüttungs-, sondern Ausräumungsflächen. Wer räumt sie aus? Walther sagt: der Wind. Dagegen leugnen andere, daß der Wind überhaupt flächenhaft erodieren könne. Auf Lehmflächen seien z. B. in der Atakama jahrzehntelang Spuren sichtbar. Der Lehm erhärte an der Oberfläche beim Austrocknen und werde vom Wind nicht bewegt.

Ich möchte glauben, daß man in diesem Fall nicht darauf geachtet hat, daß bezüglich der Abtragung in Salzsteppen und Wüsten ein prinzipieller Gegensatz besteht, der nicht scharf genug betont werden kann.

In Salzsteppen verhindert die Krustenbildung, die oft genug nur in einem oberflächlichen Erhärten und Zusammenbacken der Erde — Lehm, Sand — besteht, die flächenhafte Erosion des Windes. Diese leicht zu verstehende Wirkung der Krustenbildung kann man z. B. in Algerien in hohem Grade beobachten. In der Atakama backen anscheinend, wie auch anderswo, die Lehme oberflächlich infolge von Salzabscheidung — Kalk? Gips? — zusammen und damit ist der Wind lahmgelegt. Daß unter günstigen Bedingungen auch in der Wüste solche Krusten entstehen können, ist natürlich. Aus einzelnen Beobachtungen über die Ohnmacht des Windes an solchen Stellen darf man aber nicht überhaupt auf seine Unfähigkeit, flächenhaft zu erodieren, schließen.

Wenn man auf die Bedeutung der Krustenbildung achtet, die Salzsteppen bezüglich der Abtragung anders beurteilt als die Wüsten und auch in letzteren etwaige Gegenden mit Krustenbildung in ihrem Verhalten dem Wind gegenüber richtig erkennt, dann wird sich, wie ich glauben möchte, die Überzeugung Bahn brechen, daß in Wüsten, d. h. in richtigen Wüsten, der Wind in ganz gewaltiger Weise flächenhaft abträgt, Ebenen und Hohlformen erzeugt, und Zeugen stehen läßt, bis er auch diese allmählich beseitigt. Auf das Ausblasen von Hohlformen in Gesteinen, das Ausarbeiten von Schichtenköpfen und Gesteinswällen inmitten eckiger eluvialer Kiesmassen sollte man achten, da andere Kräfte solche Gebilde wohl kaum schaffen können, sie also zur Diagnose ehemaliger Wüsten benutzt werden können.

Die Wüstenablagerungen zu studieren, ist gleichfalls eine Hauptaufgabe des Geologen, da man aus ihnen eventuell auf ehemalige fossile Wüsten schließen kann. In Wüsten, die nur wenig gebirgig sind, dürften die Hauptablagerungen bestehen aus Sand, der sich aus dem Zerfall der Gesteine bildet, und in Niederungen zu enormen Dünenfeldern zusammengeweht werden kann. Hier sollte man untersuchen, ob Bogendünen — Barkhane — vorkommen, die die ursprünglichste Form der Düne sein soll, ob sich die langen parallelen Dünenzüge aus Reihen von Bogendünen zusammensetzen oder nicht. Warum wandern manche Dünen und stehen andere still? Kommen Windkolke vor, wie in der Libyschen Wüste, die bis zum Grundgestein hinab gehen? Sind die Kessel der Nefud Arabiens z. B. nicht auch solche Windkolke? Eluviale Kiesmassen bedecken die der Zerstörung anheimfallenden Gesteinsregionen. Lehme mit Salzen gemischt dürften in echten Wüsten im allgemeinen zurücktreten und sich nur in der Umgebung der Salzpfannen finden. Denn der Staub wird nur zum Teil in der Wüste festgehalten, der größte Teil allmählich herausgeblasen werden. Anders steht es in Wüsten, die sich an Hochgebirge anlehnen, die relativ regenreich sind und einem anderen Klima angehören, oder wenn Ströme aus anderen Klimazonen in Wüsten hinein fließen und Ablagerungen bilden.

Dann geraten Sedimente in die Wüsten, die nicht in ihnen entstanden sind. Dazu gehören z. B. die riesigen Schotter- und Lehmablagerungen, die aus den regenreicheren Hochgebirgen stammen und die Becken der zentralasiatischen Wüsten erfüllen. Es wird zweckmäßig sein, auf reine und gemischte Wüstenablagerungen zu achten und sie auseinander zu halten. Wüstenablagerungen sind eben nicht gleichbedeutend mit Ablagerungen in abflußlosen Gebieten, die Salzsteppen, ja selbst Steppen sein können.

Interessante Probleme knüpfen sich an die Ablagerungen in Salzpfannen. Walther meint, daß alle fossilen Salzlager von einiger Mächtigkeit in abflußlosen Gebieten entstanden sind, im Gegensatz zu der Hypothese mariner Entstehung in Lagunen hinter Barren. Lassen sich für Walthers Ansicht Beobachtungen anführen? Ohne Bohrungen wird man allerdings wohl kaum den Nachweis führen können.

4. Beobachtungen in Hochgebirgsregionen.

Das Klima alpiner Berge in den Tropen und Subtropen entspricht keineswegs dem der gemäßigten resp. polaren Zonen. Die Insolation ist gänzlich verschieden und ebenso der Luftdruck, Niederschläge u. a. Vor allem wird es sich darum handeln, die Verwitterung in den verschiedenen Gebieten der Pflanzendecken festzustellen. Die Insolation am Tage, die Kälte Nachts dürfte eine gewaltige mechanische Zerstörung der Felsen herbeiführen. Wie ist die chemische Verwitterung? Wie verwandeln sich die lehmigen Produkte der heißen Region? Gehen sie in einen Lehm über, der dem der gemäßigten Zone entspricht? Wie hoch geht die chemische Zersetzung mit Lehmbildung hinauf? Wie verhält sich die Humusbildung? In welcher Höhe beginnt Humusboden und Anhäufung der verwesenden Vegetation? Welchen Anteil nehmen Bergwiesen und Matten an der Humusbildung? Kommen echte Torfmoore vor und welches sind die torfbildenden Pflanzen? Wo endet die Vegetation, wie ist die Verwitterung der Felskruste?

Die Abtragung wird mancherlei Besonderheiten in den verschiedenen Regionen der Pflanzendecke zeigen. Wo dicker Humus mit dichter Pflanzenschicht den Boden schützt, dürfte die Erosion anders verlaufen als im Urwald, dessen Boden kahl ist. Wie ist die Abtragung im Bereich der Matten und Wiesen? Beteiligen sich Bodentiere an derselben? Hat der Wind als abtragende Kraft Bedeutung? Ist die Staubbildung erheblich?

Ganz besondere Aufmerksamkeit erfordert die Frage nach der ehemaligen stärkeren Vergletscherung, die zuerst durch Hans Meyers Forschungen in Ostafrika und Südamerika nachgewiesen worden ist. Die Methoden der Untersuchung sind natürlich die gleichen, wie anderswo. Diese Frage führt über zu dem Thema der Klimaänderungen.

5. Beobachtungen über Klimaänderung.

Wir wir sahen, stellen die Tropen und Subtropen eine Region mit gesetzmäßig verteiltem Luftdruck, Winden, Niederschlägen vor. Recht gleichmäßig ist der jährliche Gang des Wetters mit dem Wandern der Sonne, die Unbeständigkeit ist gering. Die scheinbar festgefügte Ordnung ist aber früher einmal über den Haufen geworfen worden, in der Pluvialzeit. Nicht bloß in den Tropen, sondern auch in den Subtropen waren früher die Niederschläge stärker. Dafür sprechen alte Schotterterrassen in Flüssen und Seen, alte trockengelegte Seeablagerungen, größere Ausdehnung der Gletscher und Seen. Beobachtungen über solche Gebilde sind stets wertvoll und interessant. Daß die Pluvialzeit mit der Eiszeit in Zusammenhang steht, ist wohl sicher, allein ob sie mit der Periode der Vereisung gleichzeitig stattfand oder, wie andere meinen, ihr etwas vorausging, ist unbekannt. Noch weniger weiß man, ob es Schwankungen in der Pluvialzeit gegeben hat, die man mit den viel umstrittenen Interglazialzeiten vergleichen könnte.

In manchen Gebieten, so z. B. in ganz Afrika, ist die Frage nach der Veränderlichkeit des Klimas in der Gegenwart, namentlich der Abnahme der Niederschläge und des Wasservorrates, brennend. Gerade der Geologe ist im stande, diesen Prozeß richtig zu erkennen und zu beurteilen, da die geologischen Verhältnisse zeigen können, daß ein solcher Prozeß seit langem, vielleicht seit der Pluvialzeit, stattgefunden hat. In Südafrika ist das wohl der Fall, wahrscheinlich aber auch im Kongo-, Scharibecken und anderswo. Auch die Frage, ob in historischen Zeiten sich das Klima der Mittelmeerländer, z. B. in der Sahara, geändert habe, hängt hiermit zusammen. Vielleicht läßt es sich zeigen, daß wohl das Wüstenklima bereits geherrscht hat, die Zahl der Quellen und Brunnen aber seit dem Altertum stark reduziert worden ist, indem die aus der Pluvialzeit stammenden Wasservorräte geschwunden sind. So ist es z. B. recht wohl denkbar, daß das Wasser der artesischen Brunnen der Sahara aus jener regenreichen Zeit stammt.

Allein nicht bloß die Pluvialzeit weist auf eine Klimaänderung hin, auch in der Tertiärzeit scheinen Perioden geringer und hoher Niederschläge abwechselnd geherrscht zu haben. Darauf weisen Braccienbildungen, Verkieselungen, Kalkkrusten hin, und zwar sowohl in Süd- wie in Nordafrika. Das größte Problem, dem gegenüber alle anderen zurücktreten, ist aber doch das der Inselberglandschaften. Diese finden sich in der ganzen Äquatorialzone in den Gebieten, die seit dem Ende des Paläozoikums bis heute Land waren. Die wichtigste Aufgabe ist zunächst, sie morphographisch zu erforschen. Ragen die Berge wirklich aus einer ebenen Gesteinsfläche wie Inseln aus dem Ozean auf oder ist die Ebene ein Produkt

der Aufschüttung umbildet unter einer mehr oder weniger mächtigen Decke von alluviallen, eluvialen und äolischen Auflagerungen, das Gestein eine bergige bis wellige Fläche? Im Verlauf von Flußläufen wird man das feststellen können. Wenn es sich wirklich um eine ebene Gesteinsfläche handelt, hätte man den Betschuanatypus vor sich. Kommen wannenförmige Hohlformen oder herausmodellierte Gesteinswälle auf der ebenen Gesteinsoberfläche vor? Liegt eckiger Schutt, eventuell mit Kalk verdickt und verkieselt auf der Gesteinsfläche? Welche Beschaffenheit und Lagerung haben die mächtigen fossilleeren Sandsteine, die keineswegs selten die Ebenen in Inselbergregionen — z. B. Sudan, Westaustralien — bedecken? (Der Bandatypus.) Könnten sie in Wüsten oder Salzsteppen entstanden sein? Wie ist die Gesteinsoberfläche unter ihnen beschaffen? Ragen Inseln von Grundgestein aus ihnen heraus? Wie lagern sich die Sandsteine an die Inseln an? Umhüllen sie etwa eine mit eckigem Schutt bedeckte Böschung der „Insel"? Zuweilen sind die Ebenen mit jüngeren alluvialen, aus den Gebirgen stammenden Ablagerungen bedeckt — Kordofantypus — oder es hat den Anschein, daß eine ursprüngliche Inselberglandschaft durch einschneidende Flüsse zerstört wird — Adamauatypus. In solchen Gebieten werden isolierte Berge und Massive aus flachem welligem Lande aufragen, dessen Gipfel annähernd in einer Ebene liegen. Im ostafrikanischen Grabengebiet scheint die Inselberglandschaft durch die vulkanischen Ausbrüche zerstört zu sein. Ist die morphographische Beschaffenheit der Inselberglandschaften festgestellt, so wird man versuchen können, sie zu erklären. Daß sie ein Produkt der Denudation sind, darf jetzt schon als sicher angenommen werden, auch da, wo jüngere marine Ablagerungen die Ebenen bedecken — Rovumatypus. Allein welches waren die Kräfte, die solche seltsamen Oberflächenformen schufen? Die Übereinstimmung mit den Zeugenlandschaften der Wüste — die Araber haben z. B. das Wort Kaga = Zeugenberg ohne weiteres auf die Inselberge von Dar Banda und Dar Runga übertragen — ließen mich vermuten, daß sie auf der gewaltigen Festlandmasse, die im Mesozoikum von Brasilien über Afrika und Indien nach Australien (und weiter hin?) reichte, entstanden seien in einem trockenen heißen kontinentalen Wüstenklima mit zeitweiligen starken Niederschlägen, die der Winderosion durch Ausbreitung in den Niederungen entgegenarbeitete, so daß eine ebene flächenhafte Abtragung erzeugt wurde. F. von Richthofen wirft die Frage auf, ob nicht abwechselnd die Abtragung in feuchten und trockenen Klimaten die Inselberglandschaften erklären könne.

Wie dem auch sei, es wird notwendig sein, die Abtragung unter den verschiedensten Verhältnissen, im Tropenwald und der Savanne, in Steppen, Salzsteppen und Wüsten zu studieren, um einmal die merkwürdige Oberflächenform jener uralten Kontinentalmassen erklären zu können. So wie die Zuflüsse des Kongo in dem riesigen Becken von allen Seiten zusammen-

strömen und zu einem einzigen Riesenstrom vereinigt die Mauer des Küstengebirges durchbrechen, so zielt die Lösung aller der zahllosen Probleme, die Wald, Savanne und Steppe, Salzsteppe und Wüste in Bezug auf Verwitterung und Abtragung der geologischen Forschung bieten, auf die Lösung dieses größten Problems der Tropen und Subtropen hin, das der Inselberglandschaften auf der Oberfläche des uralten Gondwanalandes. Damit gewänne man aber überhaupt einen Anhalt für die Entstehung der Rumpfebenen, die ja auch in unseren Breiten in großer Ausdehnung sich zu verschiedenen Zeiten gebildet haben, und auch einen Anhalt eventuell für die Deutung so mancher alter Ablagerungen. Da sehr vieles dafür spricht, daß zeitweilig, vielleicht wiederholt ein erheblich wärmeres Klima als heutzutage geherrscht hat, so wäre das Studium der heutigen Vorgänge in den Tropen und Subtropen von ganz besonderer Wichtigkeit.

Indem ich nun dieses Kapitel, das Geologen, die zum ersten Male nach dem Süden ausziehen, als Einführung in die zahlreichen Probleme jener interessanten und wichtigen Regionen dienen soll, schließe, bitte ich jeden der Leser, hinter jede der aufgestellten Behauptungen, Ansichten und Hypothesen ein dickes Fragezeichen zu machen und selbst zu untersuchen, ob in seinem Gebiet sich alles so verhält oder ob es anders ist, und ob die gegebenen Erklärungen annehmbar sind. Dann werden unsere Kenntnisse am schnellsten und sichersten gefördert werden.

Kapitel 33.

Geologische Beobachtungen an Vulkanen.

Von Prof. Dr. K. Sapper, Tübingen.

1. Besonderheiten der Ausrüstung, Verhaltungsmaßregeln.

Irgendwelche Besonderheiten der Ausrüstung und Kleidung sind bei Untersuchung erloschener Vulkane nicht nötig, es sei denn, daß auf besonders starkes und gutgenageltes Schuhwerk gesehen werde (wegen der oft scharfkantigen Lavaströme), und daß man feste waschlederne Handschuhe oder mindestens ein kräftiges Handtuch mitnehme, sofern es gilt, Handstücke von Obsidian zu schlagen. Häufiger als sonst wird man auch den Handkompaß zum Messen von Böschungen verwenden müssen, denn die Kenntnis der Böschungsverhältnisse und des Verlaufs der Konturlinien kann für die Deutung der Entstehung des Gebildes von großer Wichtigkeit sein: man hält den Kompaß so, daß sich die eine längere Kante mit der zu messenden Konturlinie deckt, und liest das Klinometer ab.

Bei Untersuchung noch tätiger Vulkane muß natürlich noch mehr auf mög-

lichst festes Schuhwerk gesehen werden; auch ist in der Nähe von Fumarolen und Schlammvulkanen oft große Vorsicht nötig, damit man nicht einbreche; wo diese Gefahr besteht, bieten natürlich hohe Schaftstiefel bessere Gewähr gegen Verbrennungen als niedere Schnürschuhe. Der Aufenthalt in der durch H_2S, SO_2 oder HCl geschwängerten Atmosphäre erzeugt leicht Lungenkatarrh, bei genügender Konzentration selbst Erstickungsgefahr; das Vorbinden eines nassen Tuchs oder eines mit Wasser oder Kognak getränkten Schwamms vor die Nase erleichtert das Atmen wesentlich[1]). Beim Eindringen in Vertiefungen des Geländes oder Höhlen sei man vorsichtig, da CO_2-Emanationen vorhanden sein können. Umherliegende tote Insekten mögen die Gefahr verraten; sicherer ist es aber, vor dem Eindringen oder Niederbeugen sich zu vergewissern, daß Zündhölzer in dem betreffenden Medium brennen. (Der Tod zweier Personen am Boiling Lake (Dominica) im Jahre 1902 dürfte auf eine außergewöhnliche Emanation von CO_2 zurückzuführen sein.) Wer vegetationslose Schlackenkegel in den Tropen besteigen will, beachte den Rat K. v. Seebachs, die Besteigung in den allerersten Morgenstunden auszuführen, da die dunklen Schlacken und Laven sich während des Tags außerordentlich erhitzen und die darüber lagernde Luft fast unerträglich heiß machen.

Eine besondere Ausrüstung mit Apparaten ist notwendig, wenn die Vulkane noch deutliche Lebensäußerungen zeigen; es muß dann die Temperatur und die chemische Zusammensetzung, eventuell auch der Auftrieb der ausgehauchten Gase festgestellt werden.

Häufig genug beschränkt man sich auf Konstatierung der wichtigsten Gase nach dem Geruch, was bei SO_2, SH_2 und HCl recht wohl angeht. Besser aber ist es schon, durch qualitative chemische Untersuchung ihre Anwesenheit festzustellen. Tränkt man ein Stück Filtrierpapier mit Bleiacetatlösung, so zeigt eine Bräunung oder Schwärzung mit metallischem Glanz die Anwesenheit von Schwefelwasserstoff an; tritt keine Verfärbung ein, so tränke man Filtrierpapier mit einer Merkuronitratlösung, die überschüssiges Merkuronitrat enthält; wenn jetzt sich Schwärzung einstellt, so ist schweflige Säure vorhanden. Ist keine schweflige Säure vorhanden, so kann man die Anwesenheit freier Kohlensäure konstatieren, indem man einen Kolben mit dem betreffenden Gas füllt und mit 10—20 ccm Barytwasser schüttelt; ein weißer Niederschlag zeigt CO_2 an (ist in dem

---

[1]) Das Anzünden von etwas Schwefel erleichtert ebenfalls das Atmen in H_2S-Atmosphäre, da durch Zusammentreten von H_2S und SO_2 Schwefel und Wasser entsteht. Ist man gezwungen, einige Zeit in einem durch CO_2, H_2S oder SO_2 verdorbenen Luft sich aufzuhalten, so könnte man auch die Luft reinigen, indem man sie durch 30—40%ige Kalilauge ansaugte. Die Nase müßte natürlich geschlossen gehalten werden: große Vorsicht wäre nötig, daß keine Kalilauge in den Mund kommt.

Gasgemenge auch SO_2 vorhanden, so beweist ein solcher Niederschlag noch nicht Anwesenheit von CO_2; es muß eben dann das Gas in der später zu beschreibenden Weise aufgefangen und in einem zugeschmolzenen Glasgefäß zu späterer Analyse mitgenommen werden).

Zum Nachweis von Salzsäure fülle man einen Kolben von etwa 500 ccm Fassungsvermögen mit dem Gasgemenge, bedecke es mit einem schwarzen Tuch, gebe etwa 4 ccm Silbernitratlösung und 5—10 ccm Salpetersäure hinzu und schüttle: ein weißlicher käsiger Niederschlag von Chlorsilber oder ein Opalisieren der Flüssigkeit zeigt HCl an. (Fehlte Salpetersäure in der NO_3Ag-Lösung, so könnte H_2S schwarzes Silbersulfid bilden, welches das Chlorsilber verdecken würde; SO_2 aber könnte bei Mangel an Salpetersäure ebenfalls eine weiße Fällung hervorrufen. Es versteht sich, daß man zuerst ausprobieren muß, ob man wirklich salzsäurefreie Salpetersäure besitzt.)

Zum Nachweise von Borsäure müßte man das Gas längere Zeit durch Wasser, das mit verdünnter Salzsäure versetzt ist, hindurchleiten und danach Curcumapapier hineinlegen. Ist Borsäure in genügender Menge vorhanden, so bräunt sich das Curcumapapier beim Trocknen mit einem Stich ins Violette und wird beim Übergießen mit Ammoniak, Kali- oder Natronlauge blauschwarz.

Zum Nachweis von Flußsäure muß man glatte Glasscheiben über den Gasausfluß legen und mehrere Tage lang liegen lassen; das Glas wird dann geätzt und bleibt auch nach gründlicher Trocknung trübe.

Kohlenwasserstoffe und andere hier noch nicht genannte Gase bestimmt man am besten erst nachträglich im heimatlichen Laboratorium, nachdem man sie in der unten zu besprechenden Weise aufgefangen und in Glasröhren eingeschmolzen hat.

Die Sublimationsprodukte und Inkrustationen, die sich in der Nähe von Fumarolen oder auf Lavaströmen finden und oft durch schöne Kristallisation ausgezeichnet sind, können gleichfalls als Andeutung für die chemische Zusammensetzung der exhalierten Gase dienen und sollten schon deshalb gesammelt werden. Manchmal sind sie sogar das einzige Mittel, auf die Natur der Gase zu schließen, wenn es nämlich nicht möglich ist, diese aufzufangen und der Geruch keine sichere Auskunft gibt (vgl. Lacroix, La Montagne Pelée, Paris 1904, S. 391 ff. bei Fumarolen von mehr als 500° C.). Beim Aufbewahren von solchen Sublimationsprodukten ist Vorsicht geboten, da vielfach noch größere oder geringere Mengen von Gasen den Proben anhaften und leicht das Einwickelpapier und die Etiketten zerstören können. Es ist daher zu empfehlen, diese Proben, sofern man sie nicht in Watte und Glasgefäßen aufbewahren kann, erst völlig erkalten zu lassen, dann in mehrere Papierhüllen zu tun und der äußersten erst die Etikette beizugeben.

Zur Bestimmung der Temperatur mäßig temperierter Fumarolen bedient man sich zumeist der gewöhnlichen Thermometer. Es empfiehlt sich aber, für derartige Untersuchungen ausschließlich Maximalthermometer zu verwenden, da man selbst bei leicht zugänglichen und schwach arbeitenden Fumarolen an einem gewöhnlichen Thermometer nur schwer die höchst erreichte Temperatur feststellen kann, während bei stark arbeitenden, hochtemperierten Exhalationen es fast unmöglich ist, sie richtig zu finden. Bei großen Fumarolen oder bei Exhalationen aus Spalten kann man das Maximalthermometer an einem Bindfaden hinablassen; wenn der Auftrieb aber sehr stark ist, so muß man es am Bergstock oder sonst einem langen Gegenstand festbinden oder festschrauben, da man sonst die in der Mitte der Fumarole herrschende Temperatur nicht messen kann. In allen Fällen sollten die Thermometer wie Quellthermometer eine Schutzeinfassung aus festem Draht um die Quecksilberkugel besitzen, um ein Zerbrechen beim Anstoßen ans Gestein auszuschließen.

Sehr hohe Temperaturen (oberhalb des Siedepunktes des Quecksilbers gelegen) kann man dadurch annähernd bestimmen, daß man Metallstückchen (Antimon, Blei, Zinn, Zink oder Legierungen) an einem Asbestfaden hinabläßt und nachher feststellt, ob sie geschmolzen sind (Lacroix a. a. O. S. 391). Besser dürfte es sein, einen Stickstoffthermometer zu verwenden (zu erhalten bei C. Niels, Berlin oder Dr. Kühn, Kassel); die Ablesung muß hier aber mit dem Fernrohr erfolgen, was möglich ist, da sehr heiße Fumarolen ja trocken sind.

Noch empfehlenswerter dürfte ein Thermoelement mit Voltmesser sein (zu erhalten bei Siemens & Halske): bis zu Temperaturen von 600° nehme man ein Thermoelement von Konstantan und Eisen; Temperaturen bis 1500° kann man mit einer Genauigkeit von etwa 10° durch ein Thermoelement von Platin und Platinrhodium messen. Dieses wäre also zur Bestimmung der Temperaturen glühender Laven zu benützen.

Noch einfacher läßt sich die Außentemperatur eines Lavastroms mit Hilfe des Wannerschen Pyrometers messen; die Innentemperatur ließe sich mit Hilfe desselben Instruments ebenfalls feststellen, wenn man ein Loch durch die äußere Lavahülle stößt und rasch die Temperatur bestimmt.

2. Besondere Untersuchungsmethoden.

Besondere Aufmerksamkeit ist bei noch nicht erloschenen Vulkanen auf die Untersuchung ihrer Exhalationen zu verwenden. Bezüglich der thermischen Verhältnisse ist nichts Besonderes zu bemerken, wohl aber bezüglich der chemischen Zusammensetzung. Wenn es nämlich gilt, sie nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ festzustellen, so bedarf es sorgfältiger und mühseliger, manchmal selbst gefährlicher Arbeiten.

Am besten wird man sich wohl, wie seinerzeit Reiß und Stübel beim Ausbruch des Georgios auf Santorin im Jahre 1866[1]), der von Bunsen[2]) empfohlenen Apparate bedienen oder die von Fouqué[3]) angewandten Methoden und Apparate benützen. Ich gebe im Folgenden gekürzt Fouqués Anleitung wieder:

„Zunächst ist es notwendig, an Ort und Stelle einige approximative Gasanalysen zu machen, um zu messen, von welchen Fumarolen Gasproben zur späteren eingehenden Analyse gesammelt werden sollen.

Zu solcher Näherungsbestimmung kann man einseitig geschlossene graduierte Glasröhren von etwa 15 cm Länge mit etwa 8 ccm Gehalt und mit Einteilung in $^1/_2$ ccm benutzen. Wenn die Gase unter Wasser ausströmen und durch das Wasser aufsteigen, füllt man das Rohr mit dem betreffenden Wasser an und verbindet die Öffnung mit einem kleinen Trichter; Trichter und Rohröffnung bringt man unter Wasser und fängt die Gase damit auf. Wenn die Glasröhre gefüllt ist, schließt man sie mit dem Daumen ab und bringt sie nach einem Gefäß, das mit dem Wasser gefüllt ist, durch welches das Gas hindurchgegangen ist; dasselbe muß die gleiche Temperatur wie die Umgebung haben. Dann taucht man das Probierrohr mehrfach in das Wasser ein, damit es ungefähr dessen Temperatur annehme. Darauf stellt man es senkrecht auf, so daß der Wasserspiegel außen und innen gleich hoch ist und notiert nach der Graduierung die Gasmenge. Nun gilt es absorbierende Reagenzien einzuführen. Dazu bedient man sich einer kleinen, einseitig geschlossenen Glasröhre, 2 cm lang mit 3—4 mm Licht. Man bringt das Reagens in dies Röhrchen, füllt es vollends mit Wasser auf und bringt es dann, die Öffnung nach oben, in die graduierte Probierröhre. Danach schließt man diese wieder mit dem Daumen ab, nimmt sie heraus und schüttelt stark; dadurch kommt das Reagens mit dem Gas in Berührung und die Absorption kann stattfinden. Darauf bringt man die Probierröhre wieder in das Wassergefäß, die Öffnung unter Wasser und zieht den Daumen weg, so daß das kleine Röhrchen herausfällt; jetzt taucht man die Probierröhre wieder ein und hebt sie mehrfach wieder, bis das Gas die Wassertemperatur angenommen hat; man stellt die Probierröhre nun aufrecht und liest ab; die Differenz beider Ablesungen ergibt das Maß der Absorption.

Als Reagenzien benutzt man 1. Bleiacetat in Kristallen, nebst einigen Tropfen Essigsäure, zur Absorption von Schwefelwasserstoff; 2. Ätznatron in kleinen Fragmenten zur Absorption von Kohlensäure; 3. Zur Absorption von Sauerstoff pyrogallussaures Natron (man mischt Pyrogallussäure und überschüssiges Natron).

---

[1]) Geschichte und Beschreibung der vulkanischen Ausbrüche bei Santorin. Heidelberg 1868, S. 159 ff.

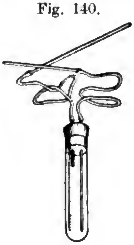
[2]) Gasometrische Methoden. Braunschweig, 1857. Fig. 1 S. 2 und Fig. 11 S. 15.

[3]) Santorin et ses éruptions, Paris 1879, S. 214 ff.

Wenn diese drei Reaktionen gemacht sind, untersucht man meist noch, ob der Gasrest brennbare Gase enthält. Dazu begibt man sich an einen möglichst dunklen Ort, schließt das Probierrohr mit dem Finger ab, die Öffnung nach oben; dann zieht man vorsichtig den Finger weg und bringt ein angezündetes Zündholz dazu; nun zeigt sich, ob eine nennenswerte Menge brennbaren Gases vorhanden ist.

Wenn die Wasserfläche, aus der die Gasblasen aufsteigen, ausgedehnt ist, so daß man nicht am Wasser knieend sie auffangen kann, oder wenn die Gasblasen nur in langen Zeiträumen aufsteigen, so muß man anderweitig die Gasblasen erst in einer Glocke auffangen und dann erst in die Probierröhre übertragen, um die oben erwähnte Methode anzuwenden. Wenn das Gas im Trockenen ausströmt, so muß man die Probierröhre mit einem doppelt durchlochten Pfropfen schließen; (vgl. Fig. 140) durch das eine Loch ragt ein Glasröhrchen beinahe zum Ende der graduierten Probierröhre hinein, während durch das zweite ein Glasröhrchen kaum über das innere Pfropfende hineinreicht; außen stehen die beiden Glasröhrchen 2 oder 3 cm über das Pfropfende vor. Man verbindet beide mit etwa 50 cm langen Kautschukschläuchen, die ihrerseits wieder mit Glasröhrchen verbunden sind. Das eine derselben ist sehr kurz (ca. 10 cm), das andere sehr lang (etwa 1 m 20 cm). Das freie Ende des letzteren schiebt man in die Fumarolenöffnung, und wenn die Temperatur zu hoch für Glas ist, verbindet man dies Glasröhrchen vermittels eines Tonkitts mit einer Porzellanröhre, die man nun einführt. Indem das Fumarolengas durch das eine Glasröhrchen in die Probierröhre eintritt und durch das andere austritt, reißt sie die anfänglich im Probierrohr enthaltene atmosphärische Luft mit sich, besonders wenn die Fumarole nach Möglichkeit rings um das Zuleitungsröhrchen verstopft worden ist und wenn man eventuell an dem zweiten Röhrchen etwas saugt (wobei der Mund mit Wasser gefüllt sein muß). Nach etwa $\frac{1}{2}$ Stunde kann man annehmen, daß nur noch Fumarolengas in der Probierröhre vorhanden ist[1]); man schließt nun den Ausleitungskautschukschlauch mit einem Quetschhahn nahe der Verbindungsstelle, worauf die Gaszirkulation aufhört. Nun läßt man erkalten, klemmt dann den Zuleitungsschlauch zu und schneidet beide Schläuche nahe den beiden Quetschhahnen ab. Nun bringt man die geschlossene Probierröhre in ein Wassergefäß und entfernt unter Wasser den Pfropfen. Die nun sich einstellende Absorption

Fig. 140.

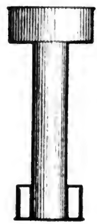


[1]) Diese Versicherung wird freilich nur unter günstigen Umständen wirklich gerechtfertigt sein und man wird etwa in der Analyse vorgefundene kleine Mengen von Sauerstoff, Stickstoff und Argon doch mit einigem Mißtrauen betrachten müssen, wenn der Fumarolendruck geringfügig gewesen ist.

erfolgt fast ausschließlich durch Auflösung von schwefliger Säure und Salzsäure im Wasser. Den Rest analysiert man wie oben."

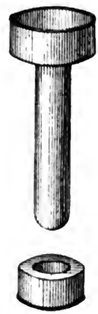
Das Wassergefäß, das bei diesen Analysen verwendet wird, muß wenigstens oben ziemlich weit sein, anderseits aber auch ziemlich tief, damit die Probierröhre ganz eingetaucht werden kann. Da nun auf Vulkanen Wasser fast immer sehr spärlich oder gar nicht zu finden ist, schlägt Fouqué vor, Blechgefäße zu verwenden mit weitem Oberteil und schmalem Unterteil, welch letzterer in einen Blechfuß gesetzt werden kann (vgl. nebenstehende Figur).

Fig. 141.



Durchschnitt.

Fig. 141 a.

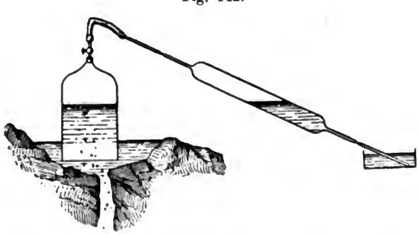


Ansicht der beiden Teile getrennt.

Zum Auffangen von Gasen, die später einer sorgfältigen Analyse unterworfen werden sollen, nimmt man (nach Fouqué) am besten Sammelröhren, die an beiden Enden verjüngt sind, und die man, je einzeln in Seidenpapier gewickelt und in ein Pappkästchen verpackt, auf dem Transport in entsprechend abgeteilten Blechbüchsen leicht mitnehmen kann, wenn man die verjüngten Enden mit Glasetuis beschützt, die durch einen Kitt fixiert werden, welcher beim Erwärmen mit der Lampe sich erweicht. Als solcher Kitt empfiehlt sich ein Gemisch von Wachs und Kolophonium zu ungefähr gleichen Teilen, dem man beim Erwärmen etwas Kautschuk beigesetzt hat, um die Sprödigkeit herabzusetzen.

Soll ein Gas aufgefangen werden, das in Wasser aufsteigt, so bringt man eine oben durch einen Hahn zu öffnende Glocke über die Gasquelle und saugt

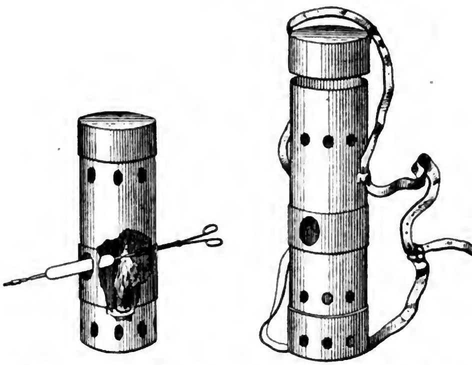
Fig. 142.



durch die obere Öffnung, um die Glocke mit Wasser zu füllen. Man füllt damit auch eine Sammelröhre und verbindet sie mit dem oberen Ende der Glocke vermittels eines Kautschukschlauchs. Nun taucht man das freie

Ende der Sammelröhre in ein Gefäß mit 3—4 ccm Wasser, nachdem man an diesem Ende ein Stückchen Kautschukschlauch angebracht hat. Hierauf öffnet man den Hahn der Glocke; das Gas dringt in sie und in die Sammelröhre ein, indem es das Wasser allmählich verdrängt (vgl. Fig. 142). Ist die Sammelröhre voll, so schließt man den Hahn, sowie das äußere Ende des Ausleitungsschlauchs unter Wasser mit einem Glasstopfen; dann kneift man mit den Fingern oder dem Quetschhahn den Schlauch am Glockenhals zu und entfernt ihn, um ihn unter Wasser ebenfalls mit einem Glasstopfen zu schließen. Danach schmilzt man mit einem von einem Wind-

Fig. 143.

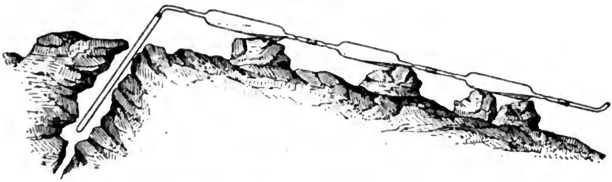


Spiritusbrenner mit Windschirm; links Wand zum Teil abgedeckt, rechts reisefertiger Apparat.

schirm umgebenen Spiritusbrenner die Enden der Sammelröhre zu und macht sie so zum Versand fertig.

Wenn es sich um das Auffangen von Gasen handelt, die an freier Luft aus der Fumarole heraustreten, so verbindet man die Glasröhre vermittels eines Kautschukschlauchs mit einer Glas- oder Porzellanröhre und bringt deren anderes Ende in das Mundloch der Fumarole. An letzteres schließt man mit Kautschukschläuchen mehrere ähnliche Röhren an und läßt dann den an das Ende der letzten angebrachten Kautschukschlauch unter Wasser in einen kleinen Behälter enden, wenn das Gas hinreichenden Druck hat; bei geringem Druck muß man ebenda saugen. Die ursprünglich enthaltene Luft wird aus den Sammelröhren allmählich durch vulkanisches Gas ersetzt samt den Flüssigkeitsmengen, die aus der Kondensation des Dampfes entstehen. Sobald man glaubt, daß die Luft

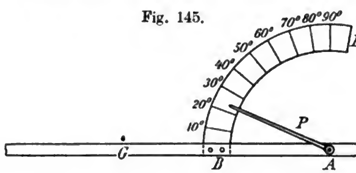
Fig. 144.



völlig entfernt ist, schließt man jedes Kautschukschlauchende mittels zweier Quetschhähne und schneidet den Kautschuk zwischen beiden durch. So ist jedes Sammelrohr einzeln: man schließt noch die Schläuche mittels Glasstopfen und schmilzt darauf wie oben die Enden der Sammelröhren zu, so daß auch sie versandfähig sind. Die definitive Analyse läßt man in einem chemischen Laboratorium der Heimat ausführen.

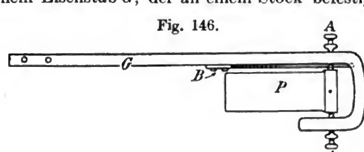
Außer den thermischen und chemischen Eigenschaften der Fumarolen sollte aber auch das Maß ihres Auftriebs festgestellt werden, was bisher nicht zu geschehen pflegte, da es eine gute Methode für solche Bestimmungen nicht gab. Man hätte allerdings durch Einführung von Flaumfederchen mit Hilfe von Zangen oder anderen leicht zu konstruierenden Apparaten die Geschwindigkeit des Gasausströmens feststellen können; aber der starke Dampf-

Fig. 145.



gehalt der meisten Fumarolen würde rasch an der Feder sich kondensieren und sie schwer machen. Mit einem Anemometer läßt sich die Geschwindigkeit der Gasausströmung ebenfalls nicht feststellen, da der Mechanismus nur zu bald versagen würde. Nun hat aber Prof. Paschen in Tübingen einen Apparat (Fig. 145 und 146) vorgeschlagen, der allen Anforderungen genügen dürfte. An einem Eisenstab *G*, der an einem Stock befestigt werden kann

Fig. 146.



und horizontal in die Gasquelle hineingehalten werden soll, ist an leicht drehbarer Achse A ein Aluminiumflügel P angebracht, der durch den Gasdruck gehoben wird und einen an einem angebrachten Eisentransporteur B direkt ablesbaren Ausschlag gibt. Durch Anwendung größerer und kleinerer Aluminium- bezw. Blechflügel und empirischer Bestimmung des zu ihrer Hebung und bestimmtem Ausschlag nötigen Gasdrucks kann man nun den Auftrieb verschieden kräftiger Fumarolen messen. Dies das Prinzip des Apparats, der im einzelnen vor der Ausreise noch zu erproben wäre.

Indem man den Auftrieb auch in den randlichen Partien messen und die Form und Größe der Fumarolenöffnung genau bestimmen würde, könnte man das absolute Maß des Auftriebs der betreffenden Fumarole feststellen, was besonders deshalb von Interesse wäre, weil nur so eine Vergleichbarkeit verschiedener Angaben möglich wäre und eventuell eine Periodizität der Intensität mit den Jahreszeiten festgestellt werden könnte, wie solche z. B. für die Fumarolen von Cuyanausul (Salvador) von den Anwohnern behauptet wird. Es ist freilich zu vermuten, daß diese Fumarole selbst einer solchen Periodizität nicht unterliegt, sondern daß nur ihr Wasserdampfgehalt infolge des in der Regenzeit reichlicher zutretenden und unten verdampften Grundwassers schwankt[1]).

Genauere Auftriebbestimmungen werden wohl nur bei längerem Aufenthalt in der Nähe des Vulkans gemacht werden; im allgemeinen wird man sich begnügen müssen, die Höhe der geradlinig aufsteigenden Fumarolensäule roh zu bestimmen, wozu es genügt, durch Abschreiten die Entfernung des Beobachtungsortes, durch Peilen mit der Kompaßkante (eventuell mit dem daneben angebrachten Visierrohr) und Ablesen des Klinometers den ungefähren Höhenwinkel der Säule festzustellen, um dann auf graphischem Weg[2]) oder durch einfache trigonometrische Rechnung die Höhe zu finden. Nur muß man sich darüber klar sein, daß man damit keine genau vergleichbaren Resultate bekommt, da die sichtbare Säule im allgemeinen umso höher ist, je feuchter die Luft ist.

Wenn irgend möglich, sollte man auch versuchen, die Gesamt- und Einzelmengen der geförderten Gase und Dämpfe exakt zu bestimmen, was nach vorausgegangener quantitativer Analyse des Gasgemenges durch Messung

[1]) Am auffälligsten ist die Verschiedenheit des Habitus der Schlammvulkane in der Regen- und Trockenzeit infolge dieses stärkeren oder geringeren Zutritts von Grundwasser: so fand ich im September 1904 in der südöstlichsten Boca des Vulkans Nisyros im Ägäischen Meer nur bescheidene Schlammsprudel und Fumarolen in der Mitte des Kraterbodens vor, während Dr. Plieninger ein halbes Jahr später in dem Krater einen Schlammsee vorfand, in dessen Mitte Gasblasen aufstiegen.

[2]) Hat man ein Millimetermaß an einer Langseite des Kompasses anbringen lassen, so kann man diese Operationen ohne weiteres Hilfsmittel an Ort und Stelle ausführen, da der Kompaß als Transporteur verwendet werden kann, wenn man das Zeichenpapier nach dem magnetischen Norden orientiert.

des Öffnungsquerschnitts und der mittleren Ausströmungsgeschwindigkeit einer Fumarole geschehen kann. Es liegen bisher viel zu wenig derartige Bestimmungen vor, um ein klares Bild von der Bedeutung der vulkanischen Exhalationen zu gewinnen. Selbst Messungen der dampfförmig geförderten Wassermengen sind nur vereinzelt gemacht worden, so z. B. von Breislak, der seinerzeit über der größten Fumarole der Solfatara von Pozzuoli eine Kondensationskammer errichtete und so die Wassermenge mit genügender Genauigkeit messen konnte.

In solchen Fällen, wo es sich um wirtschaftlich ausgebeutete Fumarolenprodukte handelt, ist vielleicht auch durch Erfragen der möglichen oder tatsächlichen Produktionsmengen ein Anhalt über das Maß der Förderung zu gewinnen, so bei Borsäure- oder Schwefelanlagen oder bei Kohlensäureexhalationen, bezw. Förderung kohlensaurer Wasser.

3. Beachtenswerte Gegenstände der Untersuchung.

a. Vulkanausbrüche.

Wer das Glück hat, einen Vulkanausbruch aus der Nähe beobachten zu können, wird auf eine Menge von Problemen durch die Natur selbst hingewiesen werden und es würde einen großen Raum erfordern, hier auf alle Möglichkeiten hinzuweisen. Ich muß daher auf eine eingehendere Darstellung verzichten und mich auf einige Bemerkungen beschränken.

Der wichtigste Grundsatz für den Beobachter eines Vulkanausbruchs muß sein, ohne jede Voreingenommenheit für diese oder jene Theorie die tatsächlichen Erscheinungen sorgfältig zu beobachten und alsbald zu Papier, womöglich auch auf die photographische Platte zu bringen. Man darf sich gerade bei solchen Ereignissen, die durch ihre Großartigkeit den Geist leicht gefangen nehmen, nicht auf das Gedächtnis verlassen, denn die Erinnerung täuscht häufig sehr; man soll auch zunächst gar keinen Versuch der Deutung der Phänomene machen, sondern einfach und kühl registrieren, was gesehen, gehört und gefühlt worden ist. Viele eindrucksvolle Ausbruchschilderungen sind wissenschaftlich wertlos, weil gerade die charakteristischen Merkmale des Ausbruchs nicht hervorgehoben worden waren.

Die den Ausbrüchen sehr oft vorausgehenden Erdbeben verdienen nach Zahl, Intensität und Schüttergebiet eingehende Untersuchung, umsomehr, als neuerdings vielfach die Bedeutung dieser Beben unterschätzt worden ist. Zur Zeit der Ausbrüche notiere man auch den Zustand der Atmosphäre (Luftdruck, Temperatur u. dgl.), da manchmal schon bestimmte Beziehungen zwischen diesen Elementen und den Ausbrüchen behauptet worden sind. Womöglich sollten auch magnetische Beobachtungen angestellt werden, da nicht selten Ausbrüche mit magnetischen Störungen zeitlich zusammen-

fallen. Man beachte auch etwaige vorübergehende oder dauernde Niveauveränderungen am Fuß des Berges, sowie am Kraterboden und sammle sorgfältig alle Nachrichten, die solche sicherzustellen vermögen.

Ist ein explosiver Ausbruch im Gang, so ist es notwendig, neben dem Ort der Eruption (Gipfelkrater oder Bergflanke) vor allem Form und Farbe der Ausbruchswolken genau festzustellen, und zu versuchen, ein Urteil über die relative Menge des darin enthaltenen Wasserdampfes zu bekommen: manche Ausbruchswolken enthalten fast ausschließlich Wasserdampf und zeichnen sich dann durch blendende Weiße der Wolkengebilde aus; andere enthalten Aschenmassen in außerordentlichem Maße, so daß sie ganz schwarz und fast kompakt erscheinen und nicht einmal bei der Auflösung der festumschriebenen Wolkenformen die Ausscheidung von Wasserdampfwolken erkennbar ist. In den Ausbruchswolken treten neben zahllosen Einzelwirbeln oft auch große einheitliche oder partielle Wirbelbildungen auf, die merkwürdige Gestalten hervorrufen und darum besonderer Beschreibung wert sind. Sorgfältig ist auch auf das eventuelle Auftreten von Flammen zu achten. Von ungeübten Beobachtern ist häufig der Widerschein der glühenden Lava in der Ausbruchsäule für Flammen gehalten worden.

Wichtig ist auch die Beschreibung der begleitenden elektrischen Erscheinungen, der Form, Art und Richtung der Blitze. Besondere Beachtung verdienen die Stern- oder Kugelblitze, die beim Ausbruch der Montagne Pelé 1902 beobachtet worden sind, oder die zahllosen, in runden Bahnen verlaufenden elektrischen Lichtlinien (z. B. des S. Maria-Ausbruchs 1902), die vielleicht durch die Reibung der Aschenwirbel aneinander hervorgerufen werden. Auch die Art der begleitenden vulkanischen Geräusche suche man möglichst genau zu beschreiben und die Intensitätsgrade auseinander zu halten.

Die Höhe der Ausbruchswolke suche man durch Feststellung des Elevationswinkels mit einem Winkelinstrument von einem Punkt aus zu bestimmen, dessen Lage genügend bekannt ist, so daß nachher eine trigonometrische Berechnung möglich ist. In Ermanglung besserer Instrumente kann man auch längs einer Langkante des geologischen Kompasses den oberen Rand der Wolke anvisieren und gleichzeitig das Klinometer spielen lassen, das man während des Visierens mit Hilfe eines Taschenspiegelchens abliest.

Man versäume auch nicht, die Richtung zu bestimmen, welche die Eruptionswolken infolge der höheren Luftströmungen einschlagen, denn abgesehen davon, daß man durch diese Feststellung den Meteorologen gewisse Anhaltspunkte über die Winde in den höheren Regionen geben kann, ist es auch wichtig, diese Richtung zu wissen, weil die Verbreitung der Lapilli- und Aschenmassen davon abhängt.

Bei absteigenden Eruptionswolken, wie die Glutwolken der Antillen-

ausbrüche von 1902 gewesen sind, hat der Wind freilich keine Macht auf die Richtung der Ausbruchsmassen, vielmehr folgen diese der Schwerkraft allein oder dieser und einem schräg gerichteten Antrieb und fließen demnach hauptsächlich in Talrinnen bergabwärts. Aber auch bei aufsteigenden Ausbruchswolken kann sich infolge einer schrägen Stellung des Eruptionskanals die Hauptmasse der Auswürflinge auf einen Sektor konzentrieren, wie sich beim jüngsten Vesuvausbruch gezeigt hat (Ottajano). Man führe auch sorgfältig Buch über das Auftreten und die Art der Nacheruptionen, sofern solche sich einstellen, über das allmähliche Nachlassen ihrer Intensität und den langsamen Übergang in Solfatarentätigkeit oder völlige Ruhe. An manchen Vulkanen, z. B. dem Vesuv, treten gegen Ende der Tätigkeit Kohlensäureexhalationen auf.

Nach einem explosiven Ausbruch ist vor allem die Verbreitung und Mächtigkeit der Auswurfstoffe zu untersuchen. Man sammle zuverlässige Angaben über die mittlere Mächtigkeit der Auswurfsdecke von möglichst vielen Orten; man ziehe auf der Karte Linien gleicher Deckschichtsmächtigkeit und zeichne Längsprofile der Mächtigkeit vom Rand des Ausbruchsgebiets nach dem Krater hin, um nach Ausmessung der Areale und Kurven die Menge der Auswurfsmassen zu berechnen. Freilich erhält man unmittelbar nach dem Ausbruch Mächtigkeitsangaben, die sehr hoch sind, da zunächst die Massen locker liegen und viele leere Zwischenräume einschließen, weshalb auch auf Grund solcher Anfangsdaten ein zu großes Maß der Ausbruchsmassen gefunden wird. Man hat z. B. gefunden, daß die Auswurfsmassen des S. Maria-Ausbruchs von 1902 sich innerhalb eines Jahres auf weniger als die halbe Mächtigkeit zusammengesetzt hatten. Weitere Messungen über solche Sackungserscheinungen und -beträge wären erwünscht.

Die Art der Auswürflinge nach Form, Einzelgrößen und petrographischer Beschaffenheit ist festzustellen, Proben derselben wohletikettiert mitzunehmen; man suche auch festzustellen, ob das ausgeworfene Material bereits vorher konsolidiert gewesen ist oder ob die Verfestigung erst in der Luft erfolgt ist. Da der Charakter des Ausbruchs sich oft mehrfach ändert, so finden sich dann mehrere Lagen verschiedenartiger Auswürflinge übereinander; die Mächtigkeit der einzelnen Lagen ist zu bestimmen, von jeder Lage eine Probe mitzunehmen. Die Mächtigkeit der Einzellagen in verschiedenen Entfernungen vom Krater ist miteinander zu vergleichen, Vorkommen, Dimensionen und Gestalt von vulkanischen Bomben und Blöcken sind festzustellen, Proben mitzunehmen. Besondere Beachtung verdienen losgerissene Stücke von Gesteinen, die unterhalb des Vulkans anstehen. Von Interesse ist hier nicht bloß die Art der Gesteine und der an ihnen etwa wahrnehmbaren Veränderungen, sondern auch die Größenverhältnisse an sich und in ihrer Beziehung zu den Entfernungen vom Krater, ferner die Form dieser Auswürflinge, ihr Vorkommen in den verschiedenen Auswürflingslagen,

und ihre Gesamtmasse, von welch letzterer Größe aus man schon versucht hat, freilich mit sehr zweifelhaftem Erfolg, einen Rückschluß auf die Tiefe des vulkanischen Herdes zu ziehen.

Die Natur der bei den großen Ausbrüchen geförderten Gase, sowie die thermischen Verhältnisse kann man manchmal aus den Wirkungen erschließen, weshalb diese eine sehr sorgfältige Untersuchung verdienen. Ein Teil der Gase wird aber auch von den niederfallenden Auswurfsmassen mitgerissen und entweicht nachher allmählich in Form von zeitweilig tätigen Fumarolen, deren Exhalationen daher eine gründliche physikalische und chemische Prüfung beanspruchen. Wo die Aschen in großen Mengen heiß gefallen sind, wird nicht nur stellenweise die Temperatur gewisser Quellen vorübergehend erhöht, sondern es können durch Zutritt von Wasser auch bedeutende Dampfexplosionen von geysirartigem Charakter eintreten, die große Mengen von Auswürflingen in die Höhe reißen und später in Form kleiner Sekundärkrater rings um die Explosionsstelle ansammeln. Man achte also auf diese Sekundärerscheinungen und ihre Nachwirkungen auf Oberflächengestaltung und hydrographische Verhältnisse.

Wie lange nach dem Ausbruch treten noch solche Explosionen ein? Wie rasch erfolgt die Abkühlung der Aschenmassen in verschiedenen Tiefenlagen? Welche Temperaturen sind vorhanden? Manchmal wirken heiße Aschen auch als Destillationsapparate für die von den Ausbruchsmassen begrabenen Waldbäume (Teerbildung auf S. Vincent 1902).

Die in der unmittelbaren Nähe des Kraters gefallenen Auswurfsmassen kommen an steilen Hängen infolge von Windstößen oder Erderschütterungen oder infolge des Stoßes neu hinzukommender Auswürflinge leicht ins Rutschen, namentlich so lange sie heiß sind, und können zu richtigen Aschenlawinen werden, die tiefgefurchte radiale Talwege am Eruptionskegel zurücklassen, wie dies am Vesuv im April 1906 zu beobachten war.

Die Hauptmasse der Auswürflinge wird aber, namentlich auf minder steilem Gelände, soweit sie nicht überhaupt dauernd liegen bleibt, durch den Wind, der regelrechte Dünen erzeugen kann, oder das spülende Regenwasser und die erodierende Tätigkeit der Wasserläufe abgetragen. Die vielgestaltigen Erscheinungen, unter denen diese Wasserabtragung erfolgt, verdienen sorgfältiges Studium. Wo lockere Lapilli oder Bimssteinmassen die Deckenschicht bilden, wird der niederfallende Regen alsbald aufgesaugt, und nur dann, wenn gewaltige Wassermengen am Grund der Bachbetten sich angereichert haben, kann ein muhrenartiges jähes Abfließen erfolgen. Wo aber Asche die Hülldecke bildet, da entsteht bei Durchfeuchtung eine wasserundurchlässige Oberflächenschicht, weshalb alles Regenwasser alsbald abfließt und in zahllosen parallelen, kon- oder divergierenden Spülrinnen große Mengen fester Stoffe wegführt. Diese Stoffmassen überlasten die Flüsse; bei Gefällsverminderung entstehen leicht Dämme, die bald wieder von den

nachdrängenden Wasser- und Schlammmassen durchbrochen werden, im Flachland aber doch zu ausgedehnten Überschwemmungen Anlaß geben können. Vulkanische Massen überdecken so häufig Geländestrecken, die unmittelbar von dem Ausbruch gar nicht betroffen worden waren; die Küstenlinien können vorgeschoben werden u. dgl. Schwere Regengüsse im Vulkangebiet können auch jählings gewaltige Schlammströme auslösen, die verheerend nach dem Tiefland vordringen.

Von Interesse sind auch Beobachtungen über die mechanischen Effekte der Ausbruchsmassen, besonders auf menschliche Bauten verschiedener Konstruktion. Wer in der Nähe des Ausbruchortes wohnt, möge auch die allmähliche Wiederherstellung der normalen Wasserabflußverhältnisse, die fortschreitende Abtragung, die Beeinflussung der Quellen, die langsame Wiederbesiedlung des betroffenen Gebiets durch Pflanzen, Tiere und Menschen verfolgen, insbesondere auch die fortschreitende Zersetzung der Oberflächenlagen, die selbst in den Tropen erst nach einer Reihe von Jahren so weit vorgeschritten ist, daß höhere Pflanzen wieder darin wurzeln können. Genauere Angaben hierüber wären sehr erwünscht.

Sobald die Umstände es gestatten, muß der Krater besucht und der Zustand desselben sorgfältig beschrieben und topographisch aufgenommen werden. Ausdehnung und Lage von Radialspalten an den Berghängen, Lage, Größe und Gestalt parasitischer Kegel, die Lage und Art der Fumarolen müssen festgestellt werden.

Vielen explosiven Ausbrüchen folgen aber auch Lavaausflüsse oder sie gehen ihnen voran. Man gebe hier auf den Ort des Ausflusses (Lage am Berg selbst oder in der Nähe) und die Art des Fließens acht, auf Dünn- oder Zähflüssigkeit der Lava, auf die Oberflächengestaltung (wulstig, glatt, oder wild zerklüftet, zackig; in Schollen zerborsten, die oft ineinander geschoben sind, oder von Schlacken bedeckt und begleitet, die manchmal durch Rollung Kugelform annehmen), auf Längsspalten und konzentrische Stirnspalten, auf Lavahöhlen, Einbrüche der Lavaschläuche und richtige kleine Grabenbrüche u. dgl.

Die Gasexhalationen und Sublimationsprodukte auf den Lavaströmen sind zu untersuchen, wobei u. a. die Frage nach dem Ursprung der Ammoniakverbindungen im Auge behalten werden muß. Die Entstehungsweise von Hornitos und Sekundärkraterchen soll geeignetenfalls sorgfältig verfolgt werden. Man beobachte auch die Erscheinungen beim Einfließen von Lava in Wasser. Auch den mechanischen und thermischen Wirkungen der Lavaströme, sowie ihrem Einfluß auf Oberflächengestaltung und hydrographische Verhältnisse muß die Aufmerksamkeit zugewendet werden, sowie der allmählichen Erkaltung und dem Grad der Zersetzung, den die Oberfläche von Lavaströmen bekannten Alters erlangt hat. Dagegen soll an dieser Stelle nicht auf die Spezialbeobachtungen und Experimente ein-

gegangen werden, die an fließenden Lavaströmen gemacht werden können, da diese einen größeren Apparat erfordern, als er dem reisenden Geologen zur Verfügung steht. Es sollen aber Laufrichtung, Länge, Breite, Mächtigkeit und Kubikinhalt, wenn irgend möglich, bestimmt werden, damit man die Möglichkeit zahlenmäßigen Vergleichs mit Lavaströmen anderer Gebiete gewinnt.

Bei Lavaausbrüchen, wie sie die Vulkane vom Hawaiitypus zeigen, sollten vor allem die Lavafontänen aufs genaueste studiert werden, denn es ist da doch noch manches zweifelhaft; namentlich weiß man nicht, ob es Lavatröpfchen sind, die von Gasen emporgerissen werden, oder aber in die Höhe spritzende Lavamassen. Sehr interessant wäre es, wenn sich Gelegenheit böte, die Entstehung eines Lavavulkans vom Hawaiitypus zu beobachten. Die Entstehung von Staukegeln zähflüssigen Magmas ist bereits mehrfach eingehend studiert worden, am besten auf Santorin 1866 und auf Martinique 1902; weitere genaue Beobachtungen wären aber trotzdem erwünscht.

Sehr wichtig wäre es auch, die Bildung einer extrusiven Felsnadel von der Art der berühmten Nadel der Montagne Pelé wieder in allen Phasen verfolgen zu können, sowie unzweifelhafte Mitteilungen über die Natur der in die Höhe geschobenen Gesteinsmassen beibringen zu können. Man hat ja über die Beschaffenheit der ehemaligen Felsnadel des Mont Pelé auch jetzt noch keine ausreichende Kenntnis.

Bei rein explosiven Ausbrüchen (vom Bandaisantypus) wären vor allem die topographischen Wirkungen, sowie die Verbreitung und Menge der bewegten Gesteinsmassen und die Folgen dieser Bewegungen für die Hydrographie und Wirtschaft der Gegend zu verfolgen. Von besonderem Interesse aber wäre es, Sicherheit über die Natur der die Explosion verursachenden Gase zu schaffen.

Bei allen bisher besprochenen Fällen handelte es sich um Eruptionen, die unmittelbar an freier Luft sich abspielen. Anders sind natürlich die Erscheinungen, wenn die Ausbrüche unter Wasser oder Eis stattfinden.

Ersterer Fall tritt häufig ein bei Vulkanen, deren Krater einen See enthält. Leichte Ausbrüche erzeugen hier prachtvolle geysirartige Erscheinungen, die bisher erst selten eingehender beschrieben worden sind; bei großen Ausbrüchen aber wird der Inhalt des Seebeckens unter Umständen aus dem Krater hinausgeschleudert und stürzt nun in Form von Schlamm- und Heißwasserströmen verderbenbringend zu Tal, so z. B. bei der Montagne Pelé am 3. und 5. Mai 1902 und an der Soufrière von S. Vincent am 7. Mai 1902.

Bei submarinen Vulkanausbrüchen beschränken sich die oberflächlich sichtbaren Erscheinungen, soweit solche überhaupt auftreten, auf Aufwirbeln des Wassers oder Auftreiben hoher Wassersäulen, auch zuweilen Rauch- und Flammenentwicklung, seltener Auswerfen fester Materialien.

Alle näheren Angaben über derartige Vorkommnisse und über ihre Wirkungen auf Schiffe wären sehr erwünscht. Nicht selten wird durch Explosionswellen (Flutwellen) die Kunde von submarinen Vulkanausbrüchen in weite Entfernung getragen; die Höhe, Wellenlänge, Verbreitungsgeschwindigkeit dieser Stoßwellen wären nebst ihren Wirkungen nach Möglichkeit festzustellen.

Erfolgt ein Vulkanausbruch unter einer dicken Eiskappe, wie das nicht selten in den Gletschergebieten Islands vorgekommen ist, so schmilzt das Eis und gewaltige Wasserfluten bringen riesige Eisblöcke und große Massen von Ausbruchs- und Moränenmaterial in wildem Durcheinander verheerend zu Tal: Jökullhlaup (Gletscherlauf). Erfolgt der Ausbruch aber auf einem gletscherbedeckten Vulkan, dessen Krater nicht vom Eis überdeckt ist, so bringen Aschenauswürfe keine allgemeine Eisschmelze und daher auch keine verheerenden Schlammfluten hervor, wohl aber Lavaergüsse, wie Th. Wolf am Beispiel des Cotopaxi nachgewiesen hat. Genauere Beobachtungen über derartige Ereignisse, sowie über die Entstehung von Schlammfluten an nicht vergletscherten Vulkanen, wie eine solche vom Agua in Guatemala 1541 berichtet wird, wären erwünscht.

b. Beobachtungen an Vulkanen im zeitweiligen oder dauernden Ruhezustand.

Bei einem so wandelbaren Gebilde, wie es ein Vulkan und insbesondere sein Krater ist, muß auf genaue Feststellung seiner zur Zeit der Untersuchung vorhandenen Gestalt ein großes Gewicht gelegt werden. Dazu reicht eine bloße Beschreibung nicht aus, sondern es muß bildliche Fixierung hinzutreten, und zwar genügt, wie Stübel mit Recht gesagt hat, nicht immer die Photographie, sondern manchmal muß an ihre Stelle auch die Handzeichnung treten, die das Charakteristische und Wichtige hervorhebt. Aber auch Abbildungen reichen vielfach noch nicht hin, sondern es ist in sehr vielen Fällen notwendig, eine Kartenskizze anzufertigen, wenn es z. B. gilt, die Ausdehnung von Lavaströmen, die Lage von Fumarolen und parasitischen Kegelchen, die Gestalt des Kraters, des Ringwalls und andere Einzelheiten, sowie die räumlichen Beziehungen der Vulkane untereinander genau festzulegen. Sofern eine genügende Kartenunterlage vorhanden ist, kann man diese Einzelheiten meist mit Hilfe weniger Kompaßpeilungen eintragen; fehlt eine gute Karte, so muß man eben durch Peilungen, Abschreiten und Aneroidablesungen (also Itineraraufnahmen) erst die Karte herstellen, denn nur so wird einem späteren Forscher die Möglichkeit gegeben, genau festzustellen, welche Veränderungen Platz gegriffen haben, während auch die längsten Beschreibungen hierüber meist nur ganz ungenügende Auskunft geben. Die Größenverhältnisse und Maße der Einzel-

vulkane sollen möglichst genau bestimmt werden, da hierüber für viele Gebiete noch keine hinreichenden Angaben vorliegen.

Daß den Lagerungsverhältnissen und der petrographischen Beschaffenheit der festen und lockeren Vulkanbestandteile die nötige Aufmerksamkeit geschenkt werden muß, daß insbesondere auch die zeitliche und räumliche Aufeinanderfolge petrographisch verschiedener Gebilde am nämlichen Vulkan eingehend studiert werden muß, braucht nicht besonders hervorgehoben zu werden; ebensowenig, daß auch die Tuffabsätze und Lavaströme, die sich fern von Vulkanen finden, sorgfältige Beachtung verlangen. Die Unterscheidung von Lavaströmen und Gängen ist in guten Aufschlüssen, wie sie in den Barrancos so oft gegeben sind, gewöhnlich leicht. Dagegen hält es oft schwer, bei alten Vulkanruinen die erhaltenen Reste fester Gesteinsmassen richtig zu deuten. Insbesondere ist es manchmal schwierig festzustellen, ob man es mit einem Lavastaukegel oder mit dem Lavakern eines abgetragenen Kratervulkans zu tun hat. Außerdem ist nach den Erfahrungen der letzten Pelé-Eruption darauf zu achten, ob nicht etwa eine durch vulkanische Kraft nach oben geschobene Felsnadel vorliegt. Es ist öfters darauf hingewiesen worden, daß auch nichtvulkanische Gesteinsmassen durch den inneren Druck von Vulkanen gehoben sein könnten. Auch die möglichen Wirkungen von Lakkolithen müssen stets im Auge behalten werden; doch scheint es, daß man damit in manchen Fällen neuerdings gerechnet hat, wo diese Wahrscheinlichkeit sehr gering ist.

Die lockeren Auswürflinge ordnen sich nach ihrer Größe in größerer oder kleinerer Entfernung vom Ausbruchspunkt an und bilden allseitig vom Kraterrand aus einwärts und auswärts abfallende Schichten; ein Wechsel des Charakters der Schichten braucht noch nicht auf verschiedene Eruptionen gedeutet zu werden, da während eines Ausbruchs sehr häufig der Charakter der Auswürflinge (Bimssteine, Aschen etc.) sich mehrfach ändert. Besondere Aufmerksamkeit verdienen, wie bei recenten Vulkanausbrüchen die Gesteinsbruchstücke, die vom Untergrund des Vulkans mitgerissen worden waren; auch ihre Menge zu bestimmen ist von Interesse. (Nichtvulkanische, durch Explosionswirkung zertrümmerte Gesteinsstücke überwiegen stark in den Tuffen, welche die Durchschlagsröhren von Vulkanembryonen im Sinne Brancas erfüllen. Das Vorkommen solcher Durchschlagsröhren möge sorgfältig registriert werden.)

Erhärtete Schlammströme sind kenntlich an den zahlreichen scharfkantigen Einschlüssen verschiedenartiger Größe, die in der feinkörnigen vulkanischen Grundmasse unregelmäßig eingebettet sind, gleichviel ob die niedergehenden Wassermassen starker Regengüsse die Materialien herbeigetragen haben oder ob infolge des Vulkanausbruchs große Schneemassen plötzlich weggeschmolzen sind. Wenn Gletscher schmolzen, so müssen von den Schmelzwassern natürlich auch große Mengen der Grundmoränen

mitgerissen worden sein und die erhärteten Absätze sind nun durch das gleichzeitige Vorkommen gekritzter Geschiebe ausgezeichnet (auf Island Gletscherlaufsediment genannt). Wenn man annehmen darf, daß jetzt schneefreie Vulkane infolge einer früher tieferen Lage der Schneegrenze einst schneebedeckt gewesen sein können, so besteht auch die Möglichkeit, hier ebenfalls Schlammstrom- und Gletscherlaufsedimente zu finden, die dann auf diluviales Alter schließen lassen würden.

Die „Glutwolkenabsätze“ (Absätze absteigender Eruptionswolken) sind in mäßiger Entfernung vom Ausbruchsort durch völligen Mangel an Aufbereitung ausgezeichnet; es liegen also Riesenblöcke, größere und kleinere kantige Gesteinsstücke nebst feinen Sanden und Aschen, oft auch Holzkohlen, wirr durcheinander und erst in weiterer Entfernung fehlen die Riesenblöcke, während im übrigen ein ebenso großer Wirrwarr verschieden großer Gesteinsstücke nebeneinander erhalten bleibt, allerdings mit in größerer Entfernung immer mehr sich aussprechender Tendenz zu kleinerem Korn. Neuerdings hat Völzing nachzuweisen versucht, daß der Traß des Brohltales (Eifel) Absätze absteigender Eruptionswolken darstellt.

Ähnliche Breccien entstehen übrigens auch durch die Anhäufung von Aschenlawinenmaterial, wie der jüngste Vesuvausbruch gezeigt hat.

Manche Breccien, die sehr große Ausdehnung erlangen, sind nach ihrer Entstehungsweise nicht leicht zu verstehen, und verdienen daher sorgfältigstes Studium; die Einschlüsse sind petrographisch oft gleichartig mit dem Einschlußmaterial, oft verschiedenartig, aber vulkanischer Art, zuweilen auch durchaus fremdartig.

Bei Lavavulkanen sollte darauf geachtet werden, ob die kraterartigen Öffnungen durch Explosion oder durch Einsturz oder auch durch Zurücksinken des noch flüssigen Magmas entstanden sind. Ebenso kann bei Lavahöhlen die Frage entstehen, ob sie unter der starren Decke durch Lavaabfluß längs der Erdoberfläche, oder etwa zum Teil durch Zurücksinken des Magmas in eine Spalte entstanden sind. Bei Lavaströmen mache man sorgfältige Beobachtungen über Oberflächengestaltung, Maßverhältnisse, Erstreckung nach Länge und Breite u. dergl. Man sehe auch zu, ob an recenten Lavaströmen typisch ausgebildete Säulenformen vorkommen und welche Mineralien die Lava enthält, ob etwa auch gediegenes Eisen?

Bei Kratern, Vulkanspalten oder maarähnlichen Geländevertiefungen ist immer die Frage nach der Entstehung (Aufschüttung, Explosion oder Einsturz?) zu stellen, und ebenso muß der Altersfolge der Einzelkrater eines Berges, wie der Altersfolge benachbarter Vulkane Aufmerksamkeit geschenkt werden, da sich durch solche Feststellungen gewisse Gesetzmäßigkeiten über Wanderungen der vulkanischen Ausbruchszentren ergeben können. Genaue topographische Aufnahmen und Aufsammeln der oberflächlichen Auswurfsprodukte können oft zur Entscheidung solcher Fragen führen. Wichtig

ist auch die Feststellung der Lageverhältnisse der Vulkane untereinander: reihenförmig oder regellos, Haupt- oder Querreihen u. dergl.

Topographische Eigentümlichkeiten der Vulkanberge können Aufschluß über Besonderheiten der Entstehungsgeschichte geben und verdienen daher besondere Untersuchung. Man versäume auch nicht, Erkundigungen über die in historischer Zeit stattgehabten Tätigkeitsäußerungen der einzelnen Vulkane einzuziehen.

Von großer Wichtigkeit für das Verständnis der vulkanischen Tätigkeit überhaupt kann das Studium der Beziehungen zur Tektonik der Umgebung werden, insbesondere auch die Feststellung des Verhältnisses zu älteren benachbarten Eruptionsgebilden.

Die Untersuchung der in älteren und jüngeren vulkanischen Gebieten auftretenden heißen Quellen und Geyser muß in erster Linie nach den an anderer Stelle dieses Buchs besprochenen Methoden hydrographischer Untersuchung erfolgen; jedoch darf ihre Beziehung zu vorhandenen vulkanischen Zentren und etwaigen Spaltensystemen nicht außer acht gelassen werden; um diese zu erkennen, ist meist eine genaue topographische Fixierung ihrer Lage notwendig.

Von hohem Interesse ist es auch, die Denudationsreihen der Vulkane in trockenen und feuchten Gebieten getrennt zu betrachten, sowie aus Beobachtungen alter Vulkanruinen die Geschichte dieser Gebilde zu rekonstruieren. Ein gutes Beispiel für letztere Art von Studien bildet A. Bergeats Arbeit über die äolischen Inseln (Abh. d. k. bayr. Ak. d. Wiss. II. Cl. XX. Bd.) Eine Anleitung zu derartigen Beobachtungen läßt sich nicht in wenigen Worten geben; sorgfältigste Beobachtung aller tatsächlichen Erscheinungen und gründlichstes vorurteilsloses Abwägen aller Erklärungsmöglichkeiten in Verbindung mit vorsichtiger Kombination kann hier allein zum richtigen Ziele führen. Wichtig ist aber stets, vor allem die tatsächlichen Beobachtungen genau mitzuteilen, denn ihnen wird immer der Hauptwert inne wohnen; sie behalten bleibenden Wert, auch wenn sich die daran geknüpften Schlußfolgerungen als unrichtig erweisen sollten.

Kapitel 34.

Beobachtungen an Gletschern und Inlandeis.

Von Prof. Dr. Erich von Drygalski, München.

Die geologischen Fragen einer Eiszeit lassen sich in zweifacher Weise verfolgen, nämlich durch Studien an Ablagerungen und Eiswirkungen in heute eisfreien Gebieten und durch Forschungen an noch bestehenden Vereisungen selbst. Die erste Klasse von Arbeiten ist an anderer Stelle dieses

Buches behandelt worden, die letztere soll hier Erörterung finden, wobei zu beachten ist, daß für Beantwortung glazial-geologischer Fragen Forschungen an wirklichen Inlandeismassen, wie man sie heute nur noch in den Polargebieten findet, den Forschungen an Gebirgsgletschern an Wichtigkeit insofern vorangehen, als die ersteren sich den eiszeitlichen Verhältnissen in höherem Maße nähern.

Der Unterschied zwischen Gletschern und Inlandeis ist freilich im wesentlichen ein quantitativer. Gletscherbildungen sind kleine, Inlandeismassen große Vereisungen; erstere treten im Bau der Länder relativ hinter anderen Gesteinen zurück, während die letzteren alles andere überwiegen; erstere erscheinen deshalb den Landformen eingelagert und in ihrer Entwicklung durch sie bestimmt, letztere davon unabhängig, indem sie verschiedenartige andere Formen gleichmäßig überdecken und so die ganze Physiognomie der Länder bestimmen. Inlandeismassen sind Eisüberschwemmungen ganzer Erdräume, Gletscher durch die Formen der Erdräume geleitete und in ihnen verzweigte Abflußsysteme von Niederschlägen.

Zwischen beiden Bildungen gibt es natürlich eine Reihe von Übergängen. Fassen wir die heutige Vereisung der Alpen als den bekanntesten Typus einer Gebirgsvergletscherung und im anderen Extrem die Vereisung der Antarktis als die vollkommenste Ausbildung eines Inlandeises, so würden der Reihe nach die Vereisungen von Norwegen, Island, Spitzbergen, Grönland quantitativ von der ersteren zur letzteren hinüberführen, um nur einige Beispiele zu nennen. Von Verschiedenheiten der Gletschertypen, die durch Verschiedenheiten der Landformen bedingt sind, wie z. B. in den Alpen und in Norwegen, ist zunächst abzusehen; sie haben gegenüber den primären, in der Quantität liegenden Verschiedenheiten eine sekundäre Bedeutung und verschwinden in dem Endtypus des Inlandeises völlig, da dieses eben ein ganzes Land gleichmäßig überdeckt.

Wo es sich nun darum handelt, Wesen und Wirken einer früheren Eiszeit zu verstehen, welche große und wechselvoll gestaltete Erdräume wie in Nordamerika, in Nordeuropa oder bis zu gewissem Grade auch im Alpenvorland ganz überzogen hat, werden diejenigen heutigen Vereisungen am meisten lehren, welche den früheren quantitativ am nächsten kommen. Kleinere Vereisungen, also Gebirgsvergletscherungen, zeigen freilich manche Differenzierungen und Details, welche wieder für das Verständnis der größeren von Wichtigkeit sind; diese hängen in der Regel von den Landformen ab und treten umso deutlicher hervor, je größer der Einfluß der letzteren ist. Beim Inlandeis sieht man nur noch die Erscheinungen des Eises, nicht mehr ihren Zusammenhang mit den Landformen, kann aber die ersteren aus letzterem erklären, wenn man gleichartige Erscheinungen von Gebirgsgletschern kennt. Aber nur die großen Vereisungen zeigen nach innen wie

nach außen die ganze Summe der Erscheinungen, welche bei der Gestaltung großer Erdräume durch eine Eiszeit wesentlich waren, weil sie unabhängig von lokalen Verhältnissen sind.

In den folgenden Ausführungen werde ich die Beobachtungen an Gletschern und am Inlandeis zusammen behandeln und nur in Einzelfällen darauf hinweisen, wo sich eine getrennte Behandlung empfiehlt. Auch andere Eisbildungen, z. B. der Flüsse und Meere, sollen an geeigneter Stelle erwähnt werden. Ich behandle also die Probleme des Eises als solche in ihrer Gesamtheit, nicht ihre einzelnen Anwendungen in der Geologie, doch werden sich die geologischen Wirkungen des Eises unschwer damit in Zusammenhang bringen lassen.

1. Die Ausrüstung für Eisforschungen.

Die persönliche Ausrüstung für Eisforschungen an Kleidung und Proviant ist nach den Anforderungen des Hochgebirgs oder der Polargebiete zu gestalten, welche in manchen Punkten die gleichen sind, da es sich bei beiden um Schutz gegen niedere Temperaturen, um Begehung glatter und steiler Pfade, sowie um Vorsorge gegen Schneemassen handelt. Für Eisforschungen im Hochgebirge wird die Kleidung in der Regel etwas leichter, wenn auch sonst von derselben Art gewählt werden können, wie in den Polargebieten. Für letztere will ich an dieser Stelle naturgemäß nicht die ganze Ausrüstung an Zelt, Schlafsäcken, Schlitten, Hunden, Schneeschuhen, Reiseproviant und anderen Dingen behandeln, sondern nur, soweit sie unmittelbar zur Begehung und Bearbeitung von Eismassen dienlich ist.

Als Kleidung für alle Arbeiten, die mit Bewegung verbunden sind, wird auch auf den Inlandeisflächen der Polargebiete in der Regel Wolle am zweckmäßigsten sein; nur sehe man in Ergänzung dazu noch als Windschutz eine Bluse mit Kapuze aus dichtem Baumwollenzeug vor. Für Arbeiten, bei denen man längere Zeiten an demselben Orte verbleibt, also für alle Messungen auf dem Inlandeise, genügt Wolle dagegen nicht; dazu ist eine Bluse mit Kapuze aus Wolfs- oder Renntierpelz am geeignetsten, welche jedoch erst am Ort der Messungen anzulegen ist, und zwar über die zum Gehen bis dahin benutzte Wollkleidung, deren Form man hierauf einrichten sollte, im übrigen aber nach individuellem Belieben wählen kann. Für die Beinkleider genügt fast immer Wolle; nur bei stärksten Winden habe ich auch hier das Bedürfnis nach einem Windschutz empfunden und Hosen aus Seehundfell mit der Haarseite nach außen angelegt, die für gewöhnlich den Nachteil haben, daß sie bei Transpiration die Feuchtigkeit nicht genügend hindurchlassen, was bei Wolle besser ist. Für Arbeiten auf Gebirgsgletschern gemäßigter

Breiten dürfte man immer mit Wolle auskommen, es sei denn, daß man sie im Winter vornimmt, wo die polaren Verhältnisse näher erreicht sind und daher auch die Polarreisen mehr entsprechenden wärmeren Kleidungen gewählt werden müssen.

Eine gewalkte wollene Mütze, welche man über die Ohren ziehen kann, ist bei Inlandeisarbeiten die beste Kopfbedeckung, eine dunkle Schneebrille der unentbehrliche Augenschutz. Ich habe sie häufig auch bei Messungen mit dem Theodoliten nicht ablegen können und mich daran gewöhnt. Instrumente, Karten und Notizbücher trug ich in Taschen, die mit Riemen umgeschnallt und umgehangen waren, soweit sie nicht zum Schutz gegen die Kälte, wie das Aneroid, notgedrungen in den Hosentaschen bewahrt werden mußten. Der Gebrauch von Umhängetaschen war mir sonst am bequemsten, auch wo er durch den Mangel an Taschen in den Wind- oder Pelzblusen nicht schon an sich geboten war. Man kann sich durch zeitweiliges Ablegen der Umhängetaschen schneller, leichter und mit geringerer Gefahr des Verlustes beweglicher machen, als durch Entleerungen von Rock- oder Hosentaschen, in denen man sonst etwa Instrumente aufbewahrt.

Ein Umhängen an einem Riemen oder Bindfaden empfiehlt sich auch für die Fausthandschuhe, die bei Wind aus Pelz, sonst aus dicker Wolle bestehen müssen; man kann sie dann jederzeit leicht ausziehen, um die Hände zu gebrauchen, und ebenso schnell wieder anlegen. Für den Gebrauch der Instrumente, insbesondere der Feinschrauben daran, habe ich selbst wollene Fingerhandschuhe immer als Erleichterung empfunden, während andere das Arbeiten mit bloßen Händen vorzogen. Die Fingerhandschuhe gewähren immerhin noch etwas Schutz, wenn auch natürlich, namentlich bei Wind, eine sehr häufige Anwärmung der Hände in den Hosentaschen unerläßlich ist. Unsere Matrosen arbeiteten lieber mit bloßen Händen, wenn sie die Fausthandschuhe ablegen mußten, und sagten, daß sich das anfänglich starke Schmerzgefühl dann bald verliere, was auch richtig ist und auf einem Schutz der Hände durch ein Erfrieren ihrer Außenteile beruht, nur daß auf diesem Wege die Hände gleichzeitig auch für feinere Arbeiten, z. B. das Handhaben von Meßschrauben unbrauchbar werden, weil man völlig das Gefühl in ihnen verliert. Gebrauch von Fingerhandschuhen und häufiges Anwärmen in den Hosentaschen blieb für mich deshalb die einzige Auskunft; hierin liegt vielleicht die größte Schwierigkeit für Arbeiten auf dem Inlandeise.

Besondere Beachtung erfordert auch das Schuhzeug. Bergstiefel sind für alle Eiswanderungen am geeignetsten, doch werden sie in den Polargebieten leicht zu kalt. Wir haben sie dann durch Schuhe aus gegerbtem Renntierfell (Komager) mit oder ohne feste Sohle, und bei den niedrigsten Temperaturen durch Schuhe aus Renntierpelz mit der Haar-

seite nach außen (Skaller) ersetzt, welche alle innen mit Heu gefüllt wurden. Für glatte, steile Eishänge wurden auch zu diesen Schuharten Steigeisen angelegt. Für lange Moränenwanderungen ist ein Schuhzeug mit weichen Sohlen, wie z. B. die aus Seehundfell bestehenden grönländischen Kamik, bequemer, da man damit schneller und sicherer treten kann. Für Eiswanderungen sind diese jedoch nicht geeignet, da sie dann entweder ganz aufweichen oder zu kalt werden, falls sie nicht doppelt genommen oder mit Heu gefüllt werden, was aber die Sicherheit des Gehens beeinträchtigt. In den Schuhen wurden vielfach mit Vorteil zwei Paar dicke wollene Strümpfe getragen. Trotzdem haben wir viel unter kalten Füßen gelitten. Eine Schutzhülle aus Seidenpapier unmittelbar um den Fuß wird als zweckmäßig erwähnt, doch müßte man sie häufig erneuern, was bei polarem Zeltleben nicht leicht ist. Schneeströmpfe oder Wadenbinden waren ein zweckmäßiger Schutz gegen das Eindringen von Schnee in das Schuhzeug oder sein Festsetzen an den Beinkleidern.

Als Unterkleidung dürfte stärkste Jägerwolle oder englische Lammwolle den meisten Anforderungen genügen. Vereinzelt wurden Unterkleider aus Flanell bevorzugt, die mir selbst aber weniger angenehm waren, als Wolle, weil sie weniger durchlässig waren und bei Transpiration Beschwerden bereiteten. Als Schutz gegen den Wind sind Flanellkleider dagegen von Vorteil. Viel gebraucht und für alle Arbeiten auf dem Eise der Polargebiete unentbehrlich ist eine sogenannte isländische Wollweste, eine großmaschige gestrickte Bluse aus starker Wolle mit langen Ärmeln, welche unter der Oberkleidung getragen wird und bei Wanderungen in Verbindung mit einer Windjacke auch allein genügt. Besonders angenehm ist diese Kleidung für die Nächte im Schlafsack, wo man auch bei starker Kälte in der Regel die Oberkleidung ablegen kann. Eine solche, übrigens leichte Wollweste wird man immer mitführen müssen und sich ihrer stets bedienen können, wo man zu der sonst vorgesehenen Kleidung eine Ergänzung oder den Ersatz einer aus irgend einem Grunde momentan unbequemen Oberkleidung braucht. Es gibt auch entsprechende Beinkleider, doch hat man dafür in der Regel keinen Bedarf. Im Hochgebirge gemäßigter Breiten ist eine leichtere gestrickte Weste ein hinreichender Ersatz.

Den Proviant für Arbeiten auf dem Inlandeise konnte ich noch in Grönland ähnlich wählen, wie man ihn für Hochgebirgstouren braucht. Butter oder Speck, fette Pasteten, Sardinen, auch Käse mit Brot wurden gern genossen. In der Antarktis fiel die Möglichkeit zur Einnahme von Mahlzeiten obiger Qualitäten meistens fort, weil die Aufenthalte auf dem Inlandeise zu unwirtlich und zu schutzlos gegen die Winde bei starken Kältegraden gewesen sind. In der Regel hatte das Eis der gefrorenen Atemdämpfe Bartteile und diesen nahe Bekleidungsstücke so fest und reichlich

verbunden, daß es tatsächlich Schwierigkeiten bereitete, durch den Mund Nahrung einzuführen. Wir haben uns dann tagüber mit Schokolade und Kakes, beide mit Zusatz von Eiweiß in Gestalt von Plasmon, begnügt, die man während der Bewegung oder während der Arbeit einnehmen konnte. Auch Fruchtkakes, getrocknete oder gezuckerte Früchte waren sehr angenehm.

Entschieden geringer, als im Hochgebirge oder auf dem Inlandeis Grönlands, war in der Antarktis das Durstgefühl, was insofern besonders vorteilhaft war, als sich zu seiner Befriedigung kaum eine Möglichkeit geboten hätte. Wasser gab es auf dem Inlandeis der Antarktis im Gegensatz zu dem Grönlands in den Frühjahrs- und in den Herbstmonaten nicht; mitgenommene Flaschen mit Tee oder Kakao gefroren auch unter der Kleidung. Wir haben meistens nur Morgens und Abends im Zelte getrunken, wenn wir durch Kochen Flüssigkeit bereitet hatten, tagüber auf dem Eise aber selten ein Bedürfnis danach verspürt. Im Sommer wird dieses Bedürfnis vorhanden sein, doch ist es dann auch leichter, Wasser zu finden oder ein Getränk ungefroren zu erhalten, als in den kälteren Jahreszeiten, in welchen wir auf dem antarktischen Inlandeis gearbeitet haben. Günstiger liegen die Verhältnisse bei Arbeiten auf dem Inlandeis Grönlands oder auf Gletschern in Gebirgen der gemäßigten Zonen, wobei dann Tee, Kakao, leichter Kaffee oder Zitronenlimonade zweckmäßige Getränke sind, die man in Flaschen mitführen kann, wenn man sich nicht mit dem Wasser, das man findet, begnügen will.

Die instrumentelle Ausrüstung für Eisforschungen wird man je nach den Zwecken wählen, die man damit verfolgt, und nach den Zeiten, die man dementsprechend darauf verwenden kann. Schon bei einfachen Begehungen kann man viele interessante Beobachtungen machen. Man braucht dazu lediglich Eispickel und Seil, sowie auf dem Inlandeis je nach der Jahreszeit Steigeisen oder Schneeschuhe. Auf dem Inlandeise Grönlands war es in den Herbstmonaten (Oktober und November) infolge der warmen Föhnwinde so glatt, daß man ohne Steigeisen wenig ausrichten konnte, während noch im September und ebenso im Frühjahr die Schneeschuhe (norwegische Skier) gute Dienste leisteten. In der Antarktis hatte man für die Steigeisen auch im Herbst nur wenig Verwendung, weil die Formen dort viel ebener und einfacher sind. Schneeschuhe waren dort im Frühjahr, als der Schnee weich wurde, angenehm, und auf dem Meereis, wo die Zersetzung viel lebhafter vor sich ging als auf dem Inlandeis, ganz unerläßlich. Im allgemeinen wird man auch in den Hochgebirgen in den Zeiten stärkster Ablation, also im Herbst, auf den Gebrauch von Steigeisen, und in den Zeiten überwiegender Aufschüttung (Winter und Frühjahr) auf den Gebrauch von Schneeschuhen rechnen müssen.

Zu einfacheren Untersuchungen auf dem Inlandeise und

auf Gletschern braucht man neben Aneroid und Thermometern zur Feststellung der Höhenverhältnisse und der thermischen Eigenschaften des Eises wesentlich den Kompaß zur Feststellung des Streichens der Spalten, Bänder, Moränen und Schneebildungen, ein Klinometer zur Messung von Neigungen und ein kleines Fläschchen mit einem Farbstoff — F. A. Forel braucht Anilin — zur Untersuchung von Eisstrukturen, um Korngrenzen erkenntlich zu machen, an denen sich der Farbstoff in das Eis hineinzieht, wenn man ihn mit einem Pinsel aufträgt. Zur weiteren Untersuchung von Eisstrukturen braucht man eine einfache, leichte Messingplatte, um darauf durch Andrücken und Reiben schnell einen Schliff herstellen zu können, eine Lupe zur Betrachtung von Schmelzfiguren, etwas Stanniol, um Abdrücke von Oberflächenzeichnungen zu nehmen, nebst einer weichen Bürste, um das Stanniol hierzu geeignet auf die Eisfläche aufzudrücken, und falls man nicht die Möglichkeit hat, Eisproben zur Untersuchung am Standquartier mitzunehmen, ein Mikroskop zur Feststellung der kristallographischen Verhältnisse der Körner und des Charakters ihrer Einschlüsse. Zur Beobachtung der Dichtigkeitsverhältnisse des Eises habe ich einen einfachen, unten zugeschärften Eisenzylinder (Locheisen) von bestimmtem Inhalt benutzt, den ich in das Eis einstieß, um den Inhalt dann zu schmelzen und in einem einfachen Tarierfläschchen zu messen. Zu Beobachtungen über die Schlammführung von Eisschmelzwassern benutzte ich ein einfaches Tarierfläschchen und eine kleine Handwage. Derartige Beobachtungen werden nicht sehr genau, geben aber gute Anhaltspunkte dafür, wo man genauer zu untersuchen hat.

Eingehendere Eisuntersuchungen gipfeln in der Feststellung von Eisbewegungen und deren Ursachen. Man braucht dazu einen Theodoliten, wie er besonders zweckmäßig von Max Hildebrand in Freiberg i. S. geliefert wird, nebst Stativ, dessen Füße mit Hartgummi überzogen werden können, weil sie dann weniger leicht einschmelzen. Zur Markierung von Eispunkten sind Bambusstangen sehr zu empfehlen, weil sie für den Transport leicht sind und länger stehen bleiben, als z. B. Gasrohre, die ich auch verwandt habe, die aber schnell seitlich einschmelzen und umfallen. Zur Aufstellung der Bambusstangen braucht man einen Bohrer, dessen Konstruktion sorgfältig zu wählen ist, weil ein guter Bohrer die Arbeit wesentlich erleichtert. Nähere Angaben über die Konstruktion eines solchen gibt A. Stehr[1]). Die Bohrlöcher muß man so tief machen, daß sie bis zur nächsten Beobachtung noch tief genug bleiben, um die Stange in aufrechter Stellung zu erhalten, wenn die Eisoberfläche in der Zwischenzeit durch Ablation erniedrigt wird. Die Größe der Ablation hängt natürlich von der Jahreszeit ab. In der Antarktis betrug sie in den Wintermonaten

[1]) Deutsche Südpolar-Expedition, Bd. I, Technik. Berlin 1905.

von Anfang Mai bis Anfang Oktober nur 3—4 cm; in Grönland habe ich bis zu 2,8 m starke Ablationen in der Jahresperiode feststellen können, wovon 1,8 m auf die Zeit von Mitte Juli bis Mitte Oktober und 1 m auf die Zeit von Mitte Oktober bis Mitte Juli fielen. Man wird die Bohrlöcher also je nach der Periode, in welcher sie vorhalten sollen, verschieden tief gestalten müssen, kann sie auch nachträglich vertiefen, wenn man Gelegenheit zu Revisionen in der Zwischenzeit hat. Gut ist es, wenn sie nicht weniger als 1 m tief sind, solange die Stangen darin stehen und beobachtet werden sollen, weil Erweiterungen der Bohrlöcher durch Abschmelzung der Seiten oder Ausfüllung mit Schmelzwasser sonst leicht zu Neigungen der Stangen führen, welche die Richtigkeit der Messungen beeinträchtigen.

Es empfiehlt sich, die Bambusstangen mit einer schwarzen Farbe anzustreichen, weil sie sich auf der weißen Eisoberfläche dann besser beobachten lassen, und mit einem einfachen Wimpel zu versehen, weil man sie dann besser im Fernrohr findet. Beides läßt sich bei der Aufrichtung der Marken leicht herstellen. Man versäume nicht, an der Stange durch eine Kerbe stets den Horizont zu markieren, in welchem die Eisoberfläche die Stange schneidet, weil das eine Marke für die wichtigen Ablationsmessungen ist, und kerbe stets auch eine Nummer ein, weil man die Stangen sonst mit der Zeit verwechselt. 3—4 m lange Stangen habe ich stets als genügend befunden, weil dann auch bei 2 m tiefen Bohrlöchern noch eine genügende Länge über der Eisoberfläche verbleibt. Hat man in dem betreffenden Gebiet nicht mit Ablation, sondern mit Aufschüttung von Schnee zu rechnen, was man in der Regel von vornherein beurteilen kann, so wird man die Stangen weniger tief einsetzen, damit immer genügende Längen über den durch Schnee erhöhten Eisoberflächen verbleiben; auch für diesen Fall wird man mit einer Gesamtlänge von 3—4 m auskommen. Man bezieht aber in die Gesamtlänge besser nicht die stark verdünnten Spitzen ein, mit denen Bambusrohr endigt. Diese werden vielmehr vorher abgeschnitten, damit auch das obere Ende der Stange noch dick genug ist, um auch aus der Ferne sicher eingestellt werden zu können. Es kann nämlich verschiedenen wichtigen Zwecken dienen, wenn man sowohl für den Fuß der Stange an der Eisoberfläche, wie für ihr oberes Ende eine gute Einstellung mit dem Fernrohr hat, insbesondere der Feststellung von Vertikalbewegungen. An Stelle des oberen Endes kann man aber auch den Wimpel beobachten, den man nahe der Spitze angebracht hat, wenn man seine Höhe über der Oberflächenmarke vorher mißt. Man lege also an der Stange selbst möglichst viele Punkte gegeneinander fest, also die Gesamtlänge, sowie die Entfernung der Oberflächenmarke und des Wimpels von beiden Enden.

Auf Gebirgsgletschern hat man nach dem Vorbild der Rhonegletschervermessung die Eispunkte vielfach auch durch Steine und Steinpyramiden markiert. Auf dem Inlandeise ist das nicht möglich, weil es dort keine

Steine gibt und ein Transport vom Lande her zu schwer ist. Auf den Küstengletschern Grönlands, wo es Steine genug gab, habe ich aber trotzdem immer Bambusstangen vorgezogen, weil sie mehr leisten, wie z. B. Ablationsmessungen und Einstellungen aus der Ferne, die man bei Steinmarken nicht erhält, ferner, weil ihr Transport leicht ist und ihre Aufrichtung mit einem guten Bohrer kaum mehr Zeit erfordert, als das Legen von Steinen. Steinpyramiden auf Eis zu errichten, empfiehlt sich gar nicht, weil sie infolge der Ablation ihrer Unterlagen bald zusammenfallen.

Noch eine Klasse von Instrumenten für länger dauernde Eisuntersuchungen sei hier erwähnt, nämlich Siemens sche Widerstandsthermometer, also abgeglichene elektrische Widerstände, die man in Bohrlöchern in das Eis einführt, um dann mit Hilfe eines Differentialgalvanometers, eines Rheostaten und einer Batterie von Trockenelementen die Veränderungen des Widerstands zu messen, die durch Temperaturschwankungen verursacht werden und aus denen man dann auf diese Temperaturschwankungen schließen kann. Diese Methode von Temperaturmessungen im Eise hat vor der gewöhnlichen mit Glasthermometern viele Vorteile, vor allem den der größeren Dauerhaftigkeit der Instrumente und der größeren Leichtigkeit der Messung, da man diese ja an Kabelenden auf der Oberfläche des Eises vornimmt, während der Widerstand ruhig unten im Eise verbleibt. Man kann diese Thermometer also auch viel besser isolieren und vor Störungen durch Temperatureinflüsse von außer her schützen, indem man nach der Einführung das Loch einfach wieder füllt. In der Antarktis habe ich auf diese Weise fortlaufende Temperaturbeobachtungen in einem Eisberg bis zu 30 m Tiefe gewonnen, was mit Glasthermometern nicht möglich gewesen wäre. Die Genauigkeit der Messungen, die man so erreichen kann, kommt der mit Quecksilberthermometern erreichbaren gleich. Für die Einführung der Widerstände in das Eis benutzt man denselben Bohrer, welchen man zur Einführung der Bambusstangen mitführt, und wählt den Querschnitt der Widerstandskasten deshalb von vornherein der Größe des Bohrers entsprechend. Die Verbindung des Widerstandes mit der Oberfläche erfolgt am besten durch dreiadrige Kabel immer in einem Strang, weil man so den störenden Einfluß der Temperaturschwankungen in der Zuleitung von den Widerständen eliminieren kann, der allerdings bei kurzen Leitungen nicht in Betracht kommt.

2. Methoden und Objekte der Eisforschung.

Schon bei der Schilderung der instrumentellen Ausrüstung ist gesagt worden, um welche Klassen von Beobachtungen es sich auf Eisoberflächen handelt, nämlich bei den Angaben darüber, wozu die verschiedenen Instrumente dienen. So kann ich mich in dem vorliegenden Abschnitt kurz fassen

und nur noch einige Ergänzungen bezw. Darstellungen unter anderen Gesichtspunkten bringen.

Alle Eisbeobachtungen gipfeln in der Feststellung der Bewegungsverhältnisse von Inlandeis- und Gletschermassen, weil alle Eigenschaften derselben in Struktur, Temperatur, Schneebedeckung, Ablationsgröße, Schuttführung, äußeren Formen und Lageverhältnissen mit der Bewegung zusammenhängen und dazu beitragen, die Bewegungsverhältnisse erkennen und in ihrem Mechanismus verstehen zu lassen. Dieses gilt in gleicher Weise, ob man die Bewegung von Gletschern und Inlandeis mit S. Finsterwalder zunächst rein geometrisch zu fassen und darzustellen versucht, oder ob man gleichzeitig ihren physikalischen Grundbedingungen nachgeht und sie daraus herleitet, wie es auf Grund der Beobachtungen an Grönlands Inlandeis von mir versucht wurde und demnächst auf Grund der Beobachtungen in der Antarktis weiter fortgeführt werden wird. Bei vertieften Eisforschungen ist stets das Hauptaugenmerk auf die Feststellung der Bewegungsverhältnisse zu richten, zumal solche Arbeiten Gelegenheit geben, alle anderen Probleme des Eises gleichzeitig zu fördern.

Für alle Bewegungsmessungen ist es zunächst erforderlich, feste Standpunkte auf eisfreiem Lande zu gewinnen, gegen welche man die Verschiebungen bestimmt markierter Eispunkte mißt. Bei Gebirgsgletschern, die in Talformen liegen, ist das leicht, bei Inlandeismassen schwer. Nach meiner Erfahrung ist es hier das beste, auf der Eisoberfläche eine Dreieckskette zu legen und zu vermessen, die man mit den Landfixpunkten möglichst sicher durch geodätische Operationen (Vorwärts- und Rückwärtseinschneiden) verbindet. Die gegenseitige Lage der Landfixpunkte, die man natürlich auch kennen muß, kann man gleichzeitig bestimmen, da Inlandeisoberflächen gute Gelegenheit zu Basismessungen und davon ausgehenden Winkelmessungen nach den Landpunkten zu bieten pflegen. Auf die Einzelheiten solcher Vermessungen kann ich hier nicht eingehen. Meine Vermessung der Bewegung des antarktischen Inlandeises durch Triangulation[1]) hat sichere Ergebnisse geliefert und kann als Beispiel dienen; doch wird man immer von den Oberflächenformen, dem Grad der Zerklüftung u. a. bei der Ausführung geodätischer Operationen abhängig sein und diese deshalb nach den lokalen Verhältnissen zu gestalten haben. Auf den Eisströmen Grönlands mußte ich andere Methoden wählen, die genügende, wenn auch weniger genaue Resultate lieferten, als eine Triangulation ergeben hätte; sie waren nach Maßgabe der dortigen schwierigen Begehungsverhältnisse gewählt und können für solche zum Anhalt dienen, sowohl darin, was sie ergeben haben,

[1]) E. v. Drygalski, Deutsche Südpolar-Expedition, Bd. I, Geopraphie. Berlin, Georg Reimer, 1908.

wie auch darin, was man an ihnen verbessern kann, worauf an den betreffenden Stellen von mir hingewiesen worden ist[1]).

Die horizontalen Bewegungsverhältnisse innerhalb einer Eisfläche leitet man also am besten aus der wiederholten Vermessung eines Dreiecksnetzes her. Von besonderem Interesse ist es, die Zeiten für die Wiederholung der Vermessung so zu wählen, daß sie bestimmte Perioden des Jahres einschließen, um gegebenenfalls jahreszeitliche Unterschiede in der Intensität der Bewegung herleiten zu können. Zu diesem Zweck empfiehlt es sich, für die nördliche Hemisphäre die Messungen auf die zweite Hälfte des September und auf den Juni zu verlegen, womöglich unter Einschaltung detaillierterer Studien auf kleinerem Raum im Juli oder August, sowie im Januar; auf der südlichen Hemisphäre würden April und Oktober für die Hauptzwecke, Januar oder Februar bezw. Juli für die entsprechenden Detailstudien geeignet sein.

Von großer Wichtigkeit sind die Vertikalbewegungen des Eises, zu deren Erkenntnis man stets Höhenmessungen mit den Triangulationen verbinden muß und zwar die Höheneinstellungen möglichst immer nach zwei Punkten der als Marken errichteten Bambusstangen, nämlich nach der Spitze oder dem ihr nahen Wimpel und nach dem Fußpunkt. Wenn es sich irgend machen läßt, versäume man nicht, irgend ein Randgebiet des Eises, sei es an eisfreiem Lande oder im Meere, besonders genau und häufig zu vermessen, weil man hier die Vertikalbewegungen des Eises am besten verfolgen kann. Es genügen dafür wenige Punkte, die sich auf einer Linie senkrecht zum Eisrande folgen oder noch besser auf zwei miteinander durch Triangulation verbundenen Linien. Bei diesem Studium gewinnen jahreszeitliche Verschiedenheiten besondere Bedeutung. Ebenso wichtig ist es, neben den bisher behandelten Oberflächenpunkten auch geeignete Tiefenpunkte zu vermessen, wozu die Steilwände polarer Gletscher manche Gelegenheit bieten. Die Erkenntnis des Mechanismus der Eisbewegung wird durch Feststellung von Verschiebungen in der Horizontalen und in der Vertikalen in verschiedenen Tiefen unter der Oberfläche, möglichst bis zum Boden herab, eine besondere Förderung erfahren. Lange, gefärbte Wergpfropfen oder ähnliche Markierungen, die ich von der Oberfläche aus in Bohrlöchern eingeführt habe, erwiesen sich für die Verfolgung dieser Probleme nicht als zweckmäßig, weil sie teils ausschmolzen, teils nicht wieder zu finden waren. Beobachtungen an steilen Eiswänden ergaben dagegen gute Resultate.

Durch die schon besprochenen Markierungen der Bambusstangen selbst gewinnt man die besten Anhaltspunkte für die Stärke und die Dauer der

[1]) E. v. Drygalski, Grönland-Expedition der Berliner Gesellschaft für Erdkunde. Bd. I, Berlin 1897.

Ablation, bezw. der Ernährung des Eises. Auf die Wichtigkeit von diesbezüglichen Feststellungen hat besonders S. Finsterwalder hingewiesen, indem er die Ablationsgrößen als grundlegenden Faktor in die Betrachtung der Eisbewegungen einführte. Beim Inlandeise gewinnen derartige Feststellungen auch dadurch Interesse, daß sich Nähr- und Abflußgebiet nicht in gleicher Weise unterscheiden lassen, wie bei den Gletschern der Gebirge, da beim Inlandeise die Ernährung bis zu den Enden hin erfolgt, auch das Abflußgebiet also noch Nährgebiet ist.

Gleichzeitige Beachtung erfordern die Staubhorizonte, deren jüngster zuzeiten mit der Eisoberfläche zusammenfällt, zu anderen Zeiten des Jahres einschmilzt und bis zu bestimmten zu messenden Beträgen unter ihr liegt. Form, Größe und Tiefe der Staublöcher sind zu beachten, wie auch Form, Größe und Verlauf von Wasserläufen auf der Eisoberfläche, insbesondere auch deren Beziehungen zu den Spalten. Vor allem ist festzustellen, ob ein Staubhorizont, der im Sommer in den erwähnten Löchern eingeschmolzen unter der Eisoberfläche liegt, sich im Herbst in der Oberfläche selbst oder darüber befindet, wenn nämlich das Einschmelzen aufgehört hat und die Oberfläche durch Verdunstung weiter erniedrigt wird, bis sie mit dem Boden der Staublöcher zusammenfällt oder darunter herabgeht, — ferner, ob ein Staubhorizont im Winter von Schnee überdeckt wird und im Frühjahr oder Sommer durch Fortschmelzen des Schnees wieder erscheint, oder ob sich auf der Schneeoberfläche, die schnell vereisen kann, ein neuer Staubhorizont bildet. Beides kann auf dem Inlandeise der Fall sein, weil dort die Ernährung durch vereisende Schneeaufschüttungen bis zu den Enden hin reicht, während sie bei Gletschern auf die höher gelegenen Firngebiete beschränkt ist. Auf diese Weise wird das Wiedererscheinen eines alten Staubhorizontes nach dem Winterschnee als Merkmal eines Inlandeisrückganges gedeutet werden müssen, da er eine stete Erniedrigung der Eisoberfläche bewirkt und bekundet, während die Entstehung neuer Staubhorizonte ein Inlandeiswachstum in dem betreffenden Gebiete anzeigen kann. Sieht man in steilen Eiswänden verschiedene Staubhorizonte übereinander, so kann daraus auf einen Wechsel von Rückzugs- und Vorstoßperioden geschlossen werden. Durch die Tiefenbewegungen, welche ich erwähnt habe, wird dieses Problem kompliziert, weil der Nachschub von unten den Verlust an der Oberfläche, welchen das Wiedererscheinen eines Staubhorizontes anzeigt, unter Umständen übertreffen kann. So gewinnt die Messung der Vertikalbewegungen besondere Wichtigkeit, wenn sie mit Beobachtungen über die Staubhorizonte kombiniert wird, weil erst beide Erscheinungen zusammen über die Veränderungen des Eisbestandes definitiven Aufschluß geben[1]).

[1]) Grönland-Expedition der Berliner Gesellschaft für Erdkunde, Bd. I.

Beobachtungen über die Verteilung des Staubes im Eise und an seiner Oberfläche führen uns zu der besonders wichtigen Klasse von Forschungen über die Eisstrukturen hinüber, da der Staub im Eise, also ältere Staubhorizonte, die Spuren früherer Rückzugsperioden, später als Schmutzbänder erscheinen, und sich nach Lage, Form und physischer Beschaffenheit auch völlig in die wichtige Strukturklasse der Bänder einreihen.

Die drei Hauptstrukturformen des Eises sind Schichten, Bänder und Spalten, wobei sogleich bemerkt werden mag, daß nach neueren Forschungen sowohl auf Gebirgsgletschern, wie in den Polargebieten immer mehr Übergänge zwischen Schichten und Bändern hervorgetreten sind, so daß die Bänder teilweise als umgeformte Schichten erscheinen. Es bleibt indessen eine wichtige Aufgabe, diesen Übergängen noch weiter nachzugehen und sie in ihren Einzelheiten zu verfolgen, namentlich in den Veränderungen, die gleichzeitig mit den Luft- und Staubeinlagerungen, sowie mit den kristallographischen Orientierungen der Körner vor sich gehen. Gewälzte Eisbergtafeln der Antarktis, in denen man die Struktur von der Oberfläche bis zum Boden studieren konnte, haben Material hierüber geliefert, welches demnächst veröffentlicht werden wird. Zur Veranschaulichung dieser Verhältnisse sei die Methode empfohlen, welche H. Gazert in der Antarktis anwandte, nämlich makroskopische photographische Aufnahmen bestimmt geschnittener und auf Messingblech geschliffener Eistafeln. In Grönland hatte ich zu dergleichen Zwecken Mikrophotographien gemacht, doch bieten die Makrophotographien Gazerts mehr. Eisphotographien unter dem Mikroskop sind überdies nicht leicht, weil die Durchleuchtung der Eisplatten im Mikroskop in der Regel auch soviel Wärme entwickelt, daß die Platte schmilzt und sich dabei verschiebt, wodurch das Bild unklar wird, während man die Belichtung bei makrophotographischen Aufnahmen so einrichten kann, daß diese Störungen fortbleiben.

Im allgemeinen ist geschichtetes Eis aus einer Folge von luftreichen weißlichen Lagen und luftärmeren, blau erscheinenden Lagen zusammengesetzt, wobei die Luftblasen nach Form und Auftreten keine Gesetzmäßigkeiten erkennen lassen. Gebändertes Eis sieht äußerlich ebenso aus, nur daß die Luftbeimengungen in den blauen Lagen mehr oder weniger zu Linien oder Flächen, die parallel zu den Bändern verlaufen, geordnet erscheinen. Die Grade dieser Ordnung sind nach Form und Verteilung im einzelnen zu studieren, um die Übergänge zwischen Bänderung und Schichtung zu finden; zugleich sind auch die kristallographischen Orientierungen der Körner zu beachten, die in den blauen Bändern gleichmäßiger zu sein pflegen, als in den weißen Eislagen dazwischen. Die Farbenunterschiede beruhen auf Dichtigkeitsunterschieden des betreffenden Eises, indem blaue Schichten oder Bänder luftärmer und daher dichter sind, als die weißen;

an die Stelle der Luftblasen ist in den blauen Lagen Schmelzwasser getreten und darin gefroren, wodurch die ganze Eismasse homogener und dichter geworden ist. Ob das Schmelzwasser von außen eindrang, wie bei den Schichten, oder innen durch Verflüssigung unter Druck entstand, wie bei den Bändern, ist im einzelnen zu untersuchen. Je mehr die Luft im Innern des Eises sich zu bestimmten Linien oder Flächenrichtungen geordnet hat, desto mehr darf man auf innere Verflüssigungen und Wiederverfestigungen schließen, die nach meiner Ansicht auf Druckerscheinungen beruhen und die Grundlage der Bewegungserscheinungen sind, woraus die Wichtigkeit eines gleichzeitigen Studiums von Struktur und Bewegung des Eises einerseits, der Übergänge von Bänderung und Schichtung anderseits erhellt.

An Stelle der Luftbeimengungen kann nun auch die Verteilung von Staub, Sand und Steinen im Eise eine Bänderung bedingen, wenn diese nämlich in gleicher Weise, wie die Luftblasen zu bestimmten Flächenrichtungen geordnet werden. In diesem Falle wird man von einer Schmutzbänderung sprechen. Die mineralischen Beimengungen vertreten hierbei die Stelle der Luftlinien und Flächen und sind, wie diese, unmittelbar von luftarmem, blauem Eise umgeben, während die Lagen der weiteren Umgebung dazwischen luftreicher und dadurch weißer sind. Die Schmutzbeimengungen können schon ursprünglich in bestimmten Flächen geordnet gewesen sein und würden dann jener Klasse von blauen Eislagen entsprechen, welche wir oben als Schichten kennzeichneten; sie können aber auch nachträglich durch innere Vorgänge umgeordnet worden sein und würden dann den blauen Bändern entsprechen. Das Studium von Übergangsformen hat hier die gleiche Bedeutung, wie oben, insbesondere in Verbindung mit Staubhorizonten der Oberfläche, aus welchen eine Schmutzschichtung entstehen kann, sowie mit der Grundmoräne, in welcher die Schmutzbänderung, die ihrerseits aus der Schichtung hervorgeht, schließlich verläuft. Studien über die kristallographischen Verhältnisse des umgebenden Eises müssen damit stets Hand in Hand gehen, weil sie über die inneren Umwandlungen des Eises weitere Aufschlüsse bringen.

Als dritte Strukturform des Eises habe ich eingangs die Spalten erwähnt. Einer Beschreibung derselben bedarf es hier nicht. Von besonderer Wichtigkeit ist die Feststellung ihrer Richtung, da diese mit der Richtung und dem Ausmaß der Bewegung des Eises in engem Zusammenhang steht. Die Spalten geben die Zugrichtungen an, welche durch die Bewegung innerhalb des Eises entstehen, während die Bänder die Druckrichtungen anzeigen. Das gleichzeitige Studium beider ist daher für die Erkenntnis der Bewegungserscheinungen von fundamentalem Wert. Auch Messungen über die Dimensionen der Spalten sind von großem Wert, besonders solche über die Tiefe. Sollten Temperaturmessungen in den Spalten

mit Hilfe von Extremthermometern möglich sein, so sind dieselben nicht zu versäumen. Endlich verdienen alle Umbildungen der Spalten besondere Beachtung und zwar sowohl die, welche in Richtungsänderungen und Drehungen bestehen und zu Durchkreuzungen verschiedener Systeme bis zur wirren Auflösung der ganzen Eismasse führen, als auch die, welche einen erneuten Verschluß früherer Spalten herbeiführen und dadurch die sogenannten Spaltbänder schaffen, welche die Schichten und Blaubänder durchschneiden. Die Spaltbänder erscheinen als Schmutzbänder, wenn sie dadurch entstanden, daß die Spalten mit Staub angefüllt wurden, als weiße Bänder, wenn sie durch Schnee verschlossen wurden, oder als klare blaue Bänder, wenn Wasser darin ausfror oder die Spalten einfach wieder zusammengedrückt sind. Der Richtung nach weichen alle diese Spaltbänderarten wesentlich von der Richtung der Schichten und der Blaubänder ab, was im einzelnen festzustellen ist. Dem Aussehen nach sind sie oft schwer von jenen zu unterscheiden. Ihr wesentliches Merkmal ist eine matte Fläche in der Mitte, die der früheren Trennungsfläche entspricht, sowie senkrecht dazu gestellte Luftkanäle, doch ist dieses Merkmal nur dann zu finden, wenn die Spaltenbänder klar sind, wenn sie also durch Ausfrieren von Wasser oder durch Zusammenschweißen der Wände entstanden, nicht bei Ausfüllung der Spalten mit Staub oder Schnee. Die matte Fläche in der Mitte ist aber, wo vorhanden, ein sehr charakteristisches Merkmal zur Unterscheidung und damit zur Festlegung der Zugrichtungen im Eise.

Von diesen Strukturen der gesamten Eismasse hat die Beobachtung dann zu den Einzelheiten vorzuschreiten und insbesondere der Kornstruktur Aufmerksamkeit zuzuwenden, also den kristallinen Verhältnissen des Eises. Man pflegte früher zu unterscheiden und eine körnige Struktur, also eine solche, in welcher die Kristalle unregelmäßig umgrenzt und ungleichmäßig gelagert sind, nur dem aus Schnee entstandenen Eise in den Gletschern oder im Inlandeise zuzuschreiben, während man in dem aus Wasser entstehenden Bach-, See- oder Meereis bestimmtere kristalline Verhältnisse sah. Solche Unterschiede existieren auch in der Tat, doch sind sie nicht so fundamental, wie man früher annahm, und auch durch Übergänge verbunden. Regellos fallende und dann zusammengeschweißte Schneekristalle bilden natürlich Eismassen von sehr verschiedenen kristallinen Verhältnissen nach Form und Orientierung; auf ruhigen Wasserflächen bilden sich dagegen Eiskristalle von gleicher Lage und Form und daher Eisdecken von viel konstanterer kristalliner Beschaffenheit. Die Grundform der Kristalle ist aber in allen Fällen die gleiche, nämlich die hexagonale Tafel, auf die man die kristallinen Verhältnisse wohl aller Eismassen zurückführen kann, oder wenn wir noch weiter gehen, ein sechsstrahliger Stern, wie wir ihn bei Schneefällen

sehen und wie er beim Anschmelzen von tafelförmigen Kristallen als Gerippe übrig bleibt.

Je nachdem nun diese Sterne oder Tafeln aneinander gelagert erscheinen oder durch herumsickerndes Schmelzwasser umfroren und vergrößert werden, bilden sich die Körner der verschiedenen Eismassen aus. Im Meereis sind die Körner Bündel von kleinen Tafeln, die sich aneinanderlagern, und zwar meist mit steilen Stellungen ihrer Flächenrichtungen zur Wasseroberfläche, wobei die optischen Hauptachsen dann entsprechend parallel zu diesen zu liegen kommen. Im Binnenseeeis, das ruhiger gefrieren kann, als das Meereis, werden die Tafeln in der Regel größer und lagern sich auf größeren Flächen, doch nicht allgemein, auch parallel zur Gefrierfläche an, auf der die optischen Hauptachsen entsprechend dann senkrecht stehen. Auch hier sind die Körner Bündel von Platten und erreichen häufig die Gestalt länglicher Stengel, die alle in der gleichen Richtung stehen. Auch im Gletschereis kommen Aneinanderlagerungen kleiner Plättchen zu Bündeln vor, besonders in Gletschergrotten, wo Luftströmungen an den Wänden ihre Feuchtigkeit niederschlagen, die dabei kristallisiert; ein Korn wird dann auch hier durch Zusammenfrieren und Umfrieren eines Bündels von Platten gebildet. Meist entstehen die Gletscherkörner aber durch ein Wachstum der einzelnen, regellos nebeneinander gefallenen Schneesterne und Tafeln zu unregelmäßig umgrenzten Körpern, wobei manche Einzelheiten dieses Wachstums noch der Klärung bedürfen. Von besonderem Interesse ist die Frage, bis zu welchen Größen sich dieses Wachstum im Gletscher steigern kann, ob es gleichmäßig ist oder ob einzelne Körner wachsen, andere daneben nicht, ob das Wachstum durch Schmelzwasser zu stande kommt oder bei einem Teil der Körner auf Kosten der anderen, inwieweit mit diesen Umbildungen des Gletschereises auch Umlagerungen der Kristallorientierungen verbunden sind, ob die Unregelmäßigkeit der Lagerung, in welcher die Schneekristalle anfangs gefallen waren, bleibt oder ob im Wachstum eine regelmäßigere Orientierung Platz greift und welche, wie sich die Schichten, Blaubänder, Spaltbänder und das Eis daneben bei diesen Vorgängen verhalten, und eine Reihe von anderen Fragen, welche alle die Erkenntnis von inneren Umwandlungen des Eises betreffen und dadurch alle auch die Ursachen und die Wirkungen der Eisbewegung berühren.

Die kristallinen Verhältnisse der Eiskörner lassen sich nicht nur auf optischem Wege, also mit Hilfe des Mikroskops verfolgen, sondern auch makroskopisch durch Beobachtungen der Schmelzvorgänge und der dabei entstehenden Schmelzfiguren, deren Form und Anordnung mit den Kristallformen und Orientierungen in bestimmtem Zusammenhang steht. Die plattige Struktur der Körner tritt dabei als eine feine, gradlinige Streifung hervor, die Plattenstreifung, welche den Aus-

tritten paralleler Plattenränder an Korngrenzen entspricht und sonach senkrecht zur optischen Achse des Korns verläuft. Außerdem gibt es auf den Korngrenzen feine, leicht geschlängelte Linierungen, welche als Forelsche Streifen beschrieben sind, äußere Schmelzkurven bedeuten und ohne Zusammenhang mit den kristallographischen Eigenschaften sind. Die Korngrenzen selbst erscheinen beim Anschmelzen von Eisoberflächen als ein feines polygonales Netz, das besser hervortritt, wenn man die Oberfläche mit Anilinfarbe bestreicht, die sich an den Korngrenzen in das Innere einzieht. Innerhalb der Körner selbst erscheinen die sogenannten Schmelzfiguren, flache, glänzend reflektierende Scheibchen, die in Gletscherkörnern meist rund sind, in den Körnern des Wassereises sechsstrahlige Sterne. Die Flächen dieser Schmelzfiguren liegen in der Richtung der Platten, also senkrecht zu der kristallographischen Hauptachse, so daß man die Orientierung der Körner danach leicht feststellen kann. Man erhält die Schmelzfiguren stets, wenn man ein Eisstück durchleuchtet. Ob sie stets an Einschlüsse innerhalb des Kornes, also Luftbläschen oder andere Beimengungen ansetzen, oder ob sie innerhalb des homogenen Eises entstehen und völlige Vakua darstellen, die in der Volumenverminderung beim Rückgang von dem festen in den flüssigen Aggregatzustand ihren Grund haben, ist sorgfältig zu beobachten. Durch die Untersuchungen Quinckes haben wir jetzt erfahren, wie alle Inhomogenitäten des Eises auf Verunreinigungen des Wassers beruhen, die sich beim Gefrieren als feine Schichten ausscheiden und beim Schmelzen die Ausgangspunkte der Wiederverflüssigung sind.

Naturgemäß lassen sich am Eise noch andere Klassen von physikalischen Beobachtungen anstellen, die auch für die Erkenntnis der Bewegungsvorgänge von Wichtigkeit sind. Dichtigkeitsbestimmungen der verschiedenen Horizonte innerhalb eines Gletschers sind von Wert und können vorläufig mit einfachen Instrumenten, wie ich sie erwähnt habe, später, wo es not tut, nach den bekannten feineren Methoden der spezifischen Gewichtsbestimmung ausgeführt werden. Von großem Interesse sind Bestimmungen der Geschwindigkeiten, mit welchen Eis unter verschiedenen Bedingungen, also in der Luft, im Süßwasser, im Meerwasser und hier in verschiedenen Tiefen schmilzt. Ich habe zu diesem Zweck Eiswürfel geschnitten, gewogen und dann die Zeit ihres Vergehens unter den verschiedenen Bedingungen beobachtet. Von besonderem Interesse sind aber natürlich Temperaturbeobachtungen, die man durch gut mit Werg isolierte, in Bambusstangen eingeführte Glasthermometer und mit den erwähnten Siemensschen Widerstandsthermometern vornehmen kann. Man häufe hierbei die Beobachtungen örtlich und zeitlich in den obersten Eislagen, sowie an und auf der Oberfläche selbst. In den tieferen Lagen, etwa von 2 m an, können sie seltener sein. Es ist von Wichtigkeit, das Eindringen

der äußeren Temperaturperioden in das Eis hinein zu verfolgen und ferner den Einfluß von Grenzbedingungen festzustellen, also z. B. den Einfluß von Wasser, in dem das Eis schwimmt, die Wirkung einer frisch gefallenen Schneedecke oder ihrer Entfernung durch Ablation, den Einfluß von Spalten in den Gletschern u. a. m. Die Beobachtungen hierüber wird man nach Zweck und Ort gesondert gestalten müssen; ich habe derartige Arbeiten in Grönland, wie in der Antarktis ausgeführt und beschrieben. Die Erkenntnis der Wärmeverteilung im Eise ist für das Verständnis der Eisbewegung von besonderer Wichtigkeit, da die Bewegungsfähigkeit auf Zustandsänderungen durch Wärme beruht.

Es bedarf nun kaum des Hinweises, daß alle die genannten Beobachtungen an Eis und Gletschern noch sehr erweiterungsfähig sind und daß sie vor allem einer steten Berührung mit geologischen Beobachtungen über Moränen und andere Ablagerungen des Eises, sowie über die Einwirkungen des Eises auf den Boden bedürfen. Diese sind alle nur durch die Bewegung des Eises verständlich und die Bewegungsvorgänge kann man anderseits zum Teil auch aus den geologischen Spuren erschließen. Es würde indessen zu weit führen, auch hierauf einzugehen, zumal die geologische Seite der Frage an anderer Stelle in diesem Buche behandelt worden ist. Von besonderer Wichtigkeit sind die Moränen nach ihrer Verteilung im Eise, auf dem Eise, unter dem Eise und neben dem Eise, nach ihren Übergängen, ihren Zusammenhängen mit der Eisstruktur und dann nach dem petrographischen Charakter und der Form ihrer Gemengteile. Von den Moränen kommen wir zu den Drumlins, den Åsar und großen Klassen fluvioglazialer Ablagerungen bei heutigen und bei früheren Vereisungen hinüber und hiervon auf die Eiswirkungen auf den Untergrund, auf Polituren, Kritzen und Schrammen, auf alte Talböden, Kare und Seen. Wir vergleichen die Grenzen früherer und heutiger Vereisungen auf dem Land und im Meer, nach ihren Formen und den Entwicklungsbedingungen, welche sie boten, und nahen uns durch stete Verbindung von Beobachtungen an bestehenden Vereisungen und ihren Wirkungen, sowie an denen der Vorzeit dem Verständnis der Eiszeiten und damit jener großen Perioden, welche weiten Erdräumen beider Hemisphären ihr Gepräge gegeben haben.

Kapitel 35.

Methoden der Erdbebenforschung.

Von A. Sieberg, Straßburg i. E.

Auf dem Gebiete der modernen Erdbebenforschung hat man zwischen zwei Richtungen zu unterscheiden: Die geologisch-geographische Richtung beschäftigt sich in der Hauptsache mit den körperlich

gefühlten Erdbeben, den „Makroseismen“, die mathematisch-physikalische aber mit den instrumentell registrierten Erdbeben, den „Mikroseismen“. Es liegt jedoch in der Natur der Sache, daß eine so strenge Arbeitsteilung in der Praxis nicht durchführbar ist. Immer wieder sieht man sich in die Notwendigkeit versetzt, in das Nachbargebiet hinüberzugreifen, wenn man bei seinen Untersuchungen nicht auf halbem Wege stehen bleiben will. Aus diesem Grunde glaubte ich meine Aufgabe derart auffassen zu müssen, daß ich beiden Richtungen möglichst Rechnung trug. Natürlich muß ich mich an dieser Stelle vornehmlich auf Anregungen beschränken, was umso eher berechtigt ist, als in dem von mir verfaßten „Handbuch der Erdbebenkunde“[1]), sowie in neueren Veröffentlichungen der Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg[2]) und ihres Direktors[3]) das für die praktische Ausführung zu wissen Notwendige zusammengestellt ist. Ganz sollen jedoch auch Anleitungen nicht fehlen, namentlich für die noch wenig bekannte Praxis der Seismometrie.

Makroseismische Beobachtungen.

Die Untersuchung eines jeden Erdbebens beginnt mit dem Sammeln ausführlicher Nachrichten über die an möglichst zahlreichen Orten beobachteten Erscheinungen. Zu diesem Zwecke werden Formulare[4]) mit vorgedruckten Fragen und freiem Raum zum Eintragen der Antworten an zuverlässige Personen versandt. Der Raum einer Postkarte genügt schon für einen Fragebogen nachstehenden Inhaltes: Ort, Datum und Zeit (Vor- oder Nachmittags? Orts- oder Zonenzeit?) des Erdbebens — Aufenthaltsort des Beobachters (im Freien? im Hause? in welchem Stockwerk?) — Art, Zahl, Dauer und Richtung der Bewegungen — Schallerscheinungen — Wirkungen des Erdbebens — Verhalten der Gewässer (Quellen, Brunnen, Flüsse, Seen, Meer) — Sonstige Bemerkungen — Adresse des Beobachters. — Besonders wichtige Einzelheiten können ja gegebenenfalls in Briefform beigefügt werden. Zur Festlegung der äußersten

---

1) A. Sieberg, Handbuch der Erdbebenkunde. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn. 1904.

2) Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung. Anleitung zum Beobachten von Erdbeben. In Gerlands Beiträgen zur Geophysik, Bd. VII. S. 438 ff. Leipzig 1905.

3) G. Gerland, Erdbebenbeobachtungen. In G. v. Neumayers Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, Bd. I. S. 374 ff. Hannover, M. Jänecke, 1906.

4) Eine Anzahl solcher Frageschemata findet sich im Handbuch der Erdbebenkunde S. 257 ff.

Grenze des Schüttergebietes wird man die in Betracht kommende Zone reichlich mit Fragekarten bedenken.

Um auch Anderen die Nachprüfung der gezogenen Schlüsse zu ermöglichen, ist es unerläßlich, das Beobachtungsmaterial in extenso zu veröffentlichen, aber nicht, wie früher üblich, in langatmigen Schilderungen, sondern in der knappen und leicht übersichtlichen Form von tabellarischen Zusammenstellungen[1]). Derartige Tabellen werden sich beschränken auf die Rubriken: Ort (Provinz, Kreis, erforderlichenfalls unter Beifügung der geographischen Koordinaten), Zeit, Art (Stoß, Wellenbewegung, Zittern) und Dauer der Bewegung, Anzahl und Richtung der Stöße, Intensität (unter Bezeichnung der zu Grunde gelegten Skala), Wirkungen, Begleiterscheinungen (Erdbebengeräusche vorher, gleichzeitig oder nachher u. s. w.). Besondere Einzelheiten, kritische Bemerkungen u. s. w. fallen unter die Rubrik „Bemerkungen“.

Die Zeitangaben bilden fast stets den schwächsten Punkt der Erdbebenbeobachtungen, nicht allein in Ermanglung richtig gehender Uhren, sondern auch, weil der Mensch im Augenblicke eines Bebens fast stets eher an alles andere als an eine korrekte Zeitbeobachtung denkt[2]). So wird man in den meisten Fällen nicht einmal die Minute genau erhalten. Daraus erhellt aber zur Genüge der Wert, oder richtiger gesagt Unwert, aller auf Zeitbeobachtungen basierenden makroseismischen Untersuchungsmethoden; für manche derartige Zwecke ergibt, wie wir später sehen werden, das mikroseismische Beobachtungsmaterial zuverlässigere Werte, weil die damit verknüpften Fehler meist kleiner sind als die der unmittelbaren persönlichen Beobachtung. Immerhin wird es sich empfehlen, in Gebieten mit häufigeren starken Beben einfache Seismoskope[3]), etwa nach v. Lasaulx oder Mack, eventuell auch nach Forster oder Pfaundler aufzustellen; gute Erfahrungen in dieser Hinsicht sind neuerdings in Chile gemacht worden.

Die Stärke der Erdbeben wird nach einer konventionellen Skala angegeben, welche an die sichtbaren Wirkungen der Erdbeben anknüpft. Den zur Zeit in Europa gebräuchlichen Intensitätsskalen[4]) von de Rossi-Forel und von Mercalli haften jedoch manche Mängel an. So ist die Einteilung bloß für die Beurteilung schwächerer und mittelstarker Erd-

---

[1]) Als Muster diene E. Rudolph, Katalog der im Jahre 1903 bekannt gewordenen Erdbeben. Ergänzungsband III zu Gerlands Beiträgen zur Geophysik. Leipzig 1905.

[2]) Die auf die Gewinnung sicherer Zeitangaben hinzielenden Ratschläge für den Beobachter (vgl. S. 364 der ersten Auflage des Handbuchs der praktischen Geologie) dürften sich wohl kaum in die Praxis umsetzen lassen.

[3]) Vgl. Erdbebenkunde S. 231 ff.

[4]) Abgedruckt in Erdbebenkunde S. 80 ff.

beben ausreichend, für die starken Beben aber versagt sie vollständig. Auch dürfen die Skalen nicht einfach schematisch zur Anwendung gelangen; entsprechen doch Spaltenbildungen im lockeren Alluvialboden einer viel geringeren Bebenstärke als solche in festerem Gestein. Das gleiche gilt von den Gebäudebeschädigungen, welche bei baufälligem oder Fachmauerwerk, sowie bei der Verwendung schlechten Baumaterials eher auftreten als bei soliden und sachgemäßen Konstruktionen.

Bei der kartographischen Darstellung der geographischen Verbreitung der Erdbebenintensität empfiehlt sich, falls genügendes Beobachtungsmaterial vorliegt, eine eingehendere Berücksichtigung als bisher des Einflusses der Beschaffenheit der oberflächlichen Bodenschichten, womit eine ins einzelne gehende Ausgestaltung der Isoseisten, die jetzt fast nur schematisch gezogen werden, Hand in Hand geht. Eine ganze Reihe von nur ungenügend belegten, zum Teil auch nur vermuteten Erscheinungen, deren Ausnutzung auch für das Gemeinwohl, namentlich die Erdbebenarchitektur, von größter Tragweite zu werden verspricht, können auf diese Weise der Erkenntnis nähergebracht werden. So scheinen die mit ihren massiven Stielen in große Tiefen der Erdkruste hinabgreifenden Eruptivgesteine, wie Granite, Basalte u. dgl., in hervorragendem Maße die Bodenruhe zu bedrohen, desgleichen die kristallinen Schiefer, welche geradezu als seismische Akkumulatoren betrachtet werden können; vielleicht geht man nicht fehl in der Annahme, daß die Granitmassive mit Hilfe des von benachbarten Faltengebirgen ausgehenden Seitendrucks rammen, während die Gneise bis zur Spannungsgrenze nachgeben, dann aber von Zeit zu Zeit unter Erderschütterungen bersten. Erinnert sei ferner an die allbekannte Tatsache, daß in lockerem Boden Gebäude der Zerstörung stärker ausgesetzt sind als in festem; in gleichem Sinne scheint Durchfeuchtung des Bodens durch starke Regengüsse zu wirken, wenn man von den dadurch erleichterten Massenverschiebungen (Erdrutsche u. s. w.) ganz absieht. Anderseits werden die Erdbebenwellen durch dichtere Gesteine (hier kommt die mit dem geologischen Alter meist zunehmende Dichtigkeit bezw. Elastizität in Betracht) bisweilen so abgelenkt, daß dahinter (im „seismischen Schatten") selbst im Schwemmland liegende Gebäude unversehrt bleiben („Erdbebeninseln"). Auch den topographischen Verhältnissen ist Aufmerksamkeit zu schenken: Tiefe Bodeneinschnitte, selbst Flußbetten, namentlich aber bedeutende Dislokationen, vermögen die Bebenenergie zu absorbieren, so daß die abgekehrte Seite unbehelligt bleibt; auf Anhöhen ist die Wirkung meist anders als in Talgründen u. s. w.

Die Nachbeben, welche meist auf die größeren Beben in wechselnder Stärke und Häufigkeit folgen, werden durchweg nicht genügend beachtet. Und doch geht aus den Untersuchungen, namentlich von

F. Omori[1]), zur Genüge hervor, daß ihnen in ihrem periodischen Charakter eine hohe wissenschaftliche und praktische Bedeutung zukommt, infolgedessen ihre genaue Beobachtung mindestens ebenso wichtig ist, als die der starken Hauptbeben.

Bei allen stärkeren Erdbeben, welche morphologische Umgestaltungen der Erdoberfläche zeitigten, sollten möglichst schnell gründliche Untersuchungen an Ort und Stelle durch Geologen einsetzen; möglichst schnell, weil manche dieser Erscheinungen schon bald verschwinden oder doch wenigstens undeutlich werden. Hier ist die eigentliche Domäne des Geologen, vermag doch nur er die Erscheinungen richtig zu erkennen und zu deuten, in ihrer vollen Tragweite zu erfassen und die gesicherten Schlüsse zu ziehen. Diese Schlüsse werden unter Umständen nicht allein für die Beurteilung der Erdkruste selbst, sondern auch der zunächst gelegenen infrakrustalen, sagen wir einmal plastisch-kristallinen, Zone des Erdballs, also für die gesamte Geophysik, von Bedeutung sein. Hier vermag er den Erdbebenphysiker zu kontrollieren und ihm ergänzend beizuspringen, während er wieder umgekehrt von seiten des letzteren der gleichen Überwachung und Beihilfe bedarf.

Zunächst ist auf alle Veränderungen in der Erdrinde bezüglich ihrer Erscheinungsformen, Ausmaße und Lage genau zu achten. Neben Schilderung, Zahlenangaben und Zeichenskizzen wird hier die Photographie in ihre Rechte treten. Sollen aber Photographien, im Gegensatze zu leider der Überzahl der jetzt vorhandenen, den wissenschaftlichen Anforderungen genügen, also irgendwelchen Untersuchungen zur Unterlage dienen, so ist die genaue Orientierung der Aufnahmen zum wahren Horizont und zur Himmelsrichtung unerläßlich, worüber natürlich Buch zu führen ist. Die Horizontierung erreicht man durch eine in die Kamera eingelassene Libelle, oder aber indem man am Kassettenträger der Kamera links und rechts spitzwinklig ausgeschnittene Metallplättchen anbringt, die sich auf der Platte mit abbilden. Die Himmelsrichtung läßt sich durch eine auf der Kamera vermerkte, der optischen Achse parallele Visierlinie bei Vergleichung eines Kompasses genügend genau feststellen. Vielversprechend erscheinen mir photogrammetrische[2]) Aufnahmen sowohl von morphologischen Bodenveränderungen, als auch von zerstörten Gebäudekomplexen, weil sie die Unterlage für wichtige Kartierungen, sowie daran anknüpfende Messungen und Berechnungen (beispielsweise der „größten Beschleunigung" während

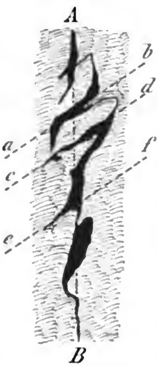
[1]) Niedergelegt in zahlreichen Abhandlungen in den „Publications in foreign Languages" der Kaiserl. Erdbebenkommission in Tokio.

[2]) Alles Nähere hierüber findet sich ausführlich in S. Finsterwalder, Die Photogrammetrie als Hilfsmittel der Geländeaufnahme, Bd. I, S. 165 ff. von G. Neumayer, Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen, 3. Aufl. Hannover 1906, sowie in O. Eggert, Einführung in die Geodäsie, 16. Kapitel, Leipzig, B. G. Teubner. 1907.

des Bebens) werden liefern können, außerdem die Feldarbeit des Geologen ganz bedeutend abkürzen und vervollständigen.

Die weitere Untersuchung wird sich darauf zu erstrecken haben, die vorliegenden Erscheinungsformen mit den natürlichen Verhältnissen der Umgebung in ursächlichen Zusammenhang zu bringen. So ist es wichtig zu wissen, ob etwa Spalten- und Rißbildungen auf Abrutschen des Verwitterungsschuttes von der festen Gesteinsunterlage längs geneigter Flächen, auf Absinken von unterwaschenen Flußufern oder Meeresküsten, auf das Sichsetzen, Sacken von lockerem Boden durch die Gewalt der Erschütterung, oder schließlich auf wirkliche, sich weit in die Tiefe fortsetzende Dislokationen zurückzuführen sind. Im letzteren Falle wird man nicht allein die oberflächliche Sprunghöhe der Verwerfung messen, sondern womöglich auch in Tunnels, Bergwerken etc. deren Betrag zu ermitteln suchen; denn da zerbröckeltes Gestein einen größeren Raum einnimmt als kompaktes, so hat man in größerer Tiefe auch eine größere Sprunghöhe zu erwarten, woraus sich unter Berücksichtigung des durchsetzten Gesteinsmaterials bemerkenswerte Schlüsse allgemeiner Art ergeben dürften. Dazu kommen noch der örtliche Wechsel der Sprunghöhe (eventuell Wechsel des abgesunkenen Flügels) mit Rücksicht auf die Bodenbeschaffenheit, sowie das Hinzutreten von horizontaler Verschiebung zur vertikalen. Für die Beurteilung der letzteren sind die sekundären Scherungsrisse (Fig. 147) zu beachten, welche die Hauptspalte unter gewissen, von der Bewegung und dem Material abhängenden Winkeln (zu messen!) schneiden, ferner von der Spalte durchsetzte Wege, Zäune, Mauern etc., deren abgeschnittene Enden gegeneinander verschoben erscheinen.

Fig. 147.



Erdbebenspalten, San Francisco 1906. Schematischer Verlauf: *A B* der Hauptspalte; *a b*, *c d* und *e f* der Scherungsrisse. Nach F. Omori.

Einzig und allein derartige Untersuchungen vermögen das oberflächliche Ausgangsgebiet, das Epizentrum des Erdbebens genügend strenge zu lokalisieren. Wenn man einesteils berücksichtigt, daß von einem punktförmigen Epizentrum in Wirklichkeit absolut keine Rede sein kann, anderseits aber das auf S. 287 bezüglich der Zeitangaben, und S. 288 über den Einfluß der Bodenbeschaffenheit, Gebäudekonstruktion etc. auf die Zerstörungen Gesagte im Auge behält, dann ergibt sich von selbst die Unzulänglichkeit der früher gebräuchlichen Methoden zur Bestimmung des Epizentrums; sollten doch die Spalten und Risse im Boden und in den Gebäuden im allgemeinen senkrecht zur Stoßrichtung verlaufen. Erst genauere, instrumentelle Zeitbeobachtungen, sei es im makroseismischen,

sei es selbst im mikroseismischen[1]) Gebiete, gestatten die (innerhalb einer gewissen bestimmten Fehlergrenze) einwandfreie Ermittlung wenigstens einer epizentralen Fläche. Eine Methode zur mehr oder minder angenäherten Bestimmung der Herdtiefe veröffentlichte zur Zeit der Drucklegung dieser Zeilen J. v. Jánosi[2]); dieselbe geht aus von den Beobachtungen über die Intensität der Erdbeben, welche durch die sogenannte Cancanische Gleichung mit der Herdtiefe und dem Absorptionskoeffizienten der Erdrinde verknüpft wird.

Als Folge der Schollenbewegungen in den oberflächlichen Erdrindenteilen machen sich meistens Störungen in der Zirkulation des Grundwassers bemerkbar. Quellen versiegen, neue brechen hervor, Farbe, Mineralgehalt und Temperatur des Wassers erleiden vorübergehende oder bleibende Veränderungen u. a. m. Aus Spalten tritt, teils hoch emporspritzend, teils ruhig überfließend, Schlamm und Sand führendes Wasser aus, welches je nach seinem Reichtum an erdigen Beimengungen diese in dünner, oft hunderte von Metern weiter Decke auf der Erdoberfläche ablagert, oder aber zu kleinen kegelförmigen Hügeln auftürmt. Zugleich werden häufig unterirdische Gasansammlungen frei. Naturgemäß ist auch diesen Erscheinungen nach Wirkung und Ursache die größte Aufmerksamkeit zu schenken.

Bei Gelegenheit stärkerer Erdbeben in Küstengebieten taucht immer wieder die Meldung auf von Veränderungen des Meeresgrundes. Obschon diese Möglichkeit keineswegs von der Hand zu weisen ist, konnte ihr Nachweis bisher nicht einwandfrei erbracht werden. Vielmehr beruhten derartige Nachrichten entweder auf unsicherer Messung oder gar Schätzung, oder aber es hatten einfach lokale Verschiebungen und Abrutschungen der losen Schlamm- und Sandmassen des Untergrundes stattgefunden.

Anders verhält es sich mit Niveauverschiebungen an Meeresküsten im Gefolge von Erdbeben. E. Sueß hat zwar die früheren diesbezüglichen Beobachtungen mehr oder minder erfolgreich zu widerlegen gewußt. Aber selbst wenn in den von ihm untersuchten Fällen die geübte Kritik das Richtige traf, so wird sich doch eine Verallgemeinerung nicht halten lassen. Denn die Beobachtungen von R. S. Tarr und L. Martin[3])

---

[1]) Als Beispiel für die Durchführung einer derartigen Untersuchung sei verwiesen auf E. Rosenthal, Les tremblements de terre du Kamtchatka en 1904, Serie A, Nr. 1, S. 31 ff. der Publications du Bureau Central de l'Association Internationale de Sismologie, Straßburg 1907.

[2]) J. v. Jánosi, Bearbeitung der makroseismischen Erdbeben auf Grund der Cancanischen Gleichung. S. 83—88 der Veröffentlichung von A. Réthly, Die Erdbeben in Ungarn im Jahre 1906. Budapest 1907. — Die praktische Durchführung dieser Berechnungen zeigt an mehreren Beispielen A. Réthly, Berechnung der makroseismischen Elemente einiger ungarischer Erdbeben. Ebenda, S. 89—134.

[3]) R. S. Tarr und L. Martin, Recent Changes of Level in the Yakutat Bay Region, Alaska. Bulletin of the Geological Survey of America, Bd. XVII. S. 39 ff., 1906.

haben gelegentlich des Erdbebens in Alaska im September 1899 positive und negative Schollenverschiebungen an der Küste im Höchstbetrage von 16 m sichergestellt, und gelegentlich des mittelchilenischen Bebens vom 16. August 1906 sind Hebungen der Küste im Betrage bis zu 80 cm zum mindesten höchst wahrscheinlich gemacht worden. Im ersteren Falle wird man ganz von selbst auf das Vorhandensein einer zähflüssigen Schicht in der Erdtiefe hingewiesen, auf der die Schollen im hydrostatischen Gleichgewicht schwimmen; indem die schwereren Schollen zur Tiefe sanken, wurden die leichteren von dem verdrängten und ausweichenden zähflüssigen Medium in ein höheres Niveau emporgepreßt. Naturgemäß dürfen diesbezügliche Beobachtungen, wenn sie beweiskräftig sein sollen, nicht auf vagen Angaben und Schätzungen, womöglich von Fischern etc., basieren. Ein gutes Kriterium bilden Muscheln und Algen, welche, früher unterhalb des Tiefwasserniveaus lebend, nunmehr oberhalb der Hochwasserlinie am Felsen sitzen und nach ihrem Absterben und Bleichen dort eine auffällige weiße Linie bilden; der Abstand zwischen dieser und den obersten lebenden Exemplaren gibt das Maß für die Bodenerhebung. Naturgemäß sind Senkungen schwerer sicherzustellen.

Die eigentlichen Seebeben an dieser Stelle zu behandeln, würde zu weit führen. Alle diejenigen, welche in die Lage kommen, sich mit ihnen eingehender beschäftigen zu müssen, seien auf die grundlegenden Untersuchungen von E. Rudolph[1]) hingewiesen.

Als Endziel der Erdbebenforschung in rein wissenschaftlicher Hinsicht müssen wir natürlich die Ermittlung der Ursache der Erdbeben betrachten, ein Ziel, von dessen Erreichung wir, offen gesagt, noch weit entfernt sind. Wenn wir heutzutage auch die Erdbeben allgemein in tektonische, vulkanische und Einsturzbeben trennen, so beruht diese Einteilung nur auf den mehr augenfälligen Erscheinungen, nicht aber auf den tieferen Ursachen, und selbst so läßt sich keine scharfe Grenze ziehen. Noch am einfachsten liegen die Verhältnisse bei den lokalen Einsturzbeben. Aber schon bei den vulkanischen Beben beginnen die Schwierigkeiten. Gewiß, die hierher gerechneten, wenig ausgedehnten Erderschütterungen sind die unmittelbare Folge der gegen die Gesteinsdecke anschlagenden Magmaexplosionen; daher die stärksten Erschütterungen bei Beginn der Eruption, das Nachlassen derselben, wenn der Ausbruchskanal freigeworden ist. Damit sind wir aber auch bereits am Ende unseres positiven Wissens angelangt. Denn worauf sind die Magmaergüsse zurückzuführen, welche die Erdstöße im Gefolge haben? Auf die Ausdehnung des Mineralbreies in einer bestimmten Phase seiner Abkühlung, oder auf tektonische Vorgänge, welche das Fassungsvermögen des Magmanestes verringern? Die tieferen Ursachen der vulkanischen Erdbeben kennen wir also

[1]) E. Rudolph, Über submarine Erdbeben und Eruptionen. In Bd. I, II u. III von Gerlands Beiträgen zur Geophysik 1887, 1895, 1898. Vgl. dazu Erdbebenkunde S. 135—160, 259—260.

nicht. Nun gar die tektonischen Beben. Die Erfahrung hat zwar gelehrt, daß im allgemeinen die habituellen Schüttergebiete in erster Linie an die Gegenden der Gebirgsauffaltung, namentlich der jugendlichen, und damit an den Verlauf der Geosynklinalen geknüpft sind, in schwächerem Maße an die Schollenränder der Bruchgebirge. Im einzelnen aber läßt sich eine Spalte, wie sie als Folge plötzlicher Verschiebung ebensogut bei der Faltung wie bei der Verwerfung auftreten kann, oder auch nur eine Schwächezone der Erdrinde, an die das Beben geknüpft sein müßte, in sehr vielen Fällen nicht nachweisen. Doch dieser Einwand ist nicht so schwerwiegend, denn es ist mit unseren Kenntnissen gut zu vereinigen, daß eine in der Tiefe stattgehabte Dislokation sich nicht in Gestalt einer Spalte bis zur Oberfläche fortsetzt. Tatsächlich scheinen die geologischen Aufnahmen und historischen Studien in Kalabrien durch W. H. Hobbs[1]) kurz nach der Erdbebenkatastrophe vom 8. September 1905 seine bereits früher gefaßte Meinung durchaus zu bestätigen, daß sich die unter einer Gesteinsdecke verborgenen Erdbebenspalten an der Oberfläche durch den Verlauf der Zerstörungszonen eindeutig zu erkennen geben. Demzufolge lägen die Orte stärkster Bebenwirkung jedesmal senkrecht über dem Schnittpunkte sich kreuzender seismotektonischer Linien. Ist aber selbst eine sichtbare Erdbebenspalte, eine wirkliche, sich tief in die Erde hinein fortsetzende Verwerfung sicher die Ursache des Erdbebens, oder sind Erdbeben und Verwerfung vielleicht gleichzeitige Folgeerscheinung einer und derselben tiefer liegenden Ursache, die nicht mit der aus der Erdabkühlung resultierenden Gebirgsbildung identisch ist? Etwa ein explosiver Vorgang in der feurigflüssigen Zone beim Übergang in den festen Zustand, so wie es Gerland annimmt und neuerdings die Schmelzversuche von G. Tammann[2]) zu bestätigen scheinen? Wenn wir offen sein wollen, so müssen wir eingestehen, daß wir es nicht wissen. Obschon auch ich der gleichen Ansicht mit Gerland bin, so halte ich das darauf fußende Vorgehen einzelner Erdbebenforscher, eine besondere Klasse von „kryptovulkanischen" Beben aufzustellen, aus dem Grunde für unangebracht, weil es sich in der Praxis als unmöglich erweisen dürfte, irgend ein Beben mit Bestimmtheit dieser Klasse zuzuweisen. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß höchstwahrscheinlich eine das Erdbeben auslösende plötzliche Schollenverschiebung auch von außen her hervorgerufen werden kann, etwa durch Massentransport von einer Scholle auf den Rand der benachbarten infolge der Denudation. Denn an der Stelle, wo die Erosion wirksam ist, muß die Scholle infolge der Druckerleichterung allmählich in die Höhe steigen und heiße, mit juvenilem Wasser stark durchtränkte, daher

[1]) W. H. Hobbs, On some Principles of seismic Geology, sowie The geotectonic and geodynamic Aspects of Calabria and northeastern Sicily. In Gerlands Beiträgen zur Geophysik, Bd. VIII, S. 219 ff. bezw. 293 ff. Leipzig 1907.

[2]) Tammann, Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig, A. Barth, 1903.

weniger dichte Gesteinsmassen drängen aus der Tiefe nach. Dagegen sinken diejenigen Gebiete, in denen die Sedimentierung erfolgt, unter der zunehmenden Belastung immer tiefer, so daß kalte wasserarme und somit dichtere Schichten in tiefere Niveaus gelangen. Die Folge dieser Vorgänge ist nicht, wie man zunächst erwarten möchte, ein Ausgleich der durch die Denudation hervorgerufenen Niveauunterschiede, sondern eine Verstärkung derselben, bis Gegenwirkungen anderer Art diesem Zustande der Instabilität ein Ende bereiten. Gut in Einklang damit steht die Erfahrungstatsache, daß allgemein die Erdbebentätigkeit umso größer wird, je stärker die Niveauunterschiede bei geringer horizontaler Entfernung sind. Einen überzeugenden Beleg bietet die ganze seismisch so ungemein rege Westküste von Südamerika: Auf der einen Seite der durch tiefe Gräben gekennzeichnete Bruchrand des pazifischen Beckens, auf der anderen Seite das (nach noch unveröffentlichten geologischen Aufnahmen von H. Keidel) in ganz jugendlicher Zeit aufgerichtete Hochgebirge der Anden, so daß die extremen Niveauunterschiede bei Valparaiso über 11 km, bei Taltal sogar ca. 14 km betragen. Jede sichergestellte Beobachtung, welche uns in einem dieser Punkte der Erkenntnis auch nur um ein Geringes näher zu bringen vermag, ist naturgemäß von größter Bedeutung, und wir haben sie in erster Linie wohl vom Geologen zu erwarten. Hier ist aber das Grenzgebiet, in dem sich die Arbeit des Geologen mit der des Erdbebenphysikers berührt. So ist gelegentlich der Erdbebenkatastrophen vom 16. August 1906 aus instrumentellen Beobachtungen zum ersten Male, wenn nicht sichergestellt, so doch mindestens sehr wahrscheinlich gemacht worden, daß die vom Aleutenbeben durch das Erdinnere allseitig entsandten Wellen der „ersten Vorläufer“ (siehe später!) bei ihrem Eintreffen in Valparaiso dort eine reife Spannung zur Auslösung brachten. Weiterhin konnte E. Oddone[1]) zunächst an den Beobachtungen über das räumlich und zeitlich ausgedehnte Balkanerdbeben vom 4. April 1904, dann auch an solchen über zahlreiche andere Erdbeben zeigen, daß diejenigen ersten Vorläuferwellen, welche den Erddurchmesser durchlaufen haben, bei ihrer nach je 34 Minuten erfolgenden Rückkehr zum Epizentrum dort Nachbeben hervorriefen. In welchem Zusammenhange aber die Polschwankungen und die Schwereanomalien, sowie die erdmagnetischen Störungen mit dem Erdbeben stehen, ist eine Frage, an deren Lösung freilich der Geologe erst herantreten kann, wenn Astronomen und Physiker genügendes Beobachtungsmaterial zusammengetragen haben werden.

Natürlich will und soll auch das Gemeinwohl von der Erdbebenforschung Nutzen ziehen, und dies geschieht in erster Linie durch die Schaffung einer Erdbebenarchitektur. Für diese vermag der ein Verheerungsgebiet unter-

[1]) E. Oddone, Quelques constantes sismiques trouvées par les macrosismes, Serie A, S. 1 ff. der Publications du Bureau Central de l'Association Internationale de Sismologie, Straßburg 1907.

suchende Geologe manch wertvolles Material herbeizuschaffen. Ihm wird es am nächsten liegen, den Einfluß der Bodenbeschaffenheit auf die Gebäudezerstörung zu studieren. Beispielsweise wird man sich in der Folge wohl hüten. in seismisch regen Gebieten Licht- und Wasserleitungen etc. über bekannte junge Dislokationen hinwegzuführen, um ähnlichen sekundären Katastrophen, wie der Feuersbrunst im Gefolge des Erdbebens zu San Franzisko am 18. April 1906, vorzubeugen. Aber auch den Zerstörungen an Bauten wird der Geologe zweckmäßig Aufmerksamkeit schenken. So wird er achten auf die Orientierung von Rissen und Spalten im Mauerwerk, von umgestürzten Gegenständen und Mauern, von abgeschleuderten Dachziegeln und Schornsteinen zur Ermittlung der örtlichen Stoßrichtung. Dabei ist genau zu erwägen, ob etwa der Gegenstand infolge von entgegenstehenden Hindernissen oder durch seine Form von der ursprünglich durch den Stoß erteilten Fallrichtung abgelenkt oder nachträglich fortgerollt ist. Weitere Fragen, die man zu beantworten suchen wird, sind: In welcher Höhe wurden Fabrikkamine gebrochen? Erlitt der abgebrochene Teil Drehung um seine Achse? War vielleicht das letzte Haus einer Straßenreihe allein beschädigt? Welchen Einfluß hatten die Güte des Baumaterials, Mauerdurchbrüche (Türen, Fenster etc.), schweres Obergeschoß oder Dach, überhaupt die Gebäudekonstruktion?

Seismizität größerer Gebiete.

Bisher haben wir die bei der Bearbeitung einzelner Beben in Frage kommenden Gesichtspunkte kennen gelernt. Alle derart erzielten Resultate haben zunächst nur lokale Bedeutung, sie sind aber gleichzeitig Bausteine zur Errichtung eines großen Gebäudes, der Lehre von der Seismizität der Gesamterde. Wer auf diesem Gebiete tätig sein will, muß die Erdbebentätigkeit durch Zeit und Raum verfolgen, in untergeordnetem Maße als Historiker, in der Hauptsache aber als Geograph. Alle seine Arbeiten gehen aus von statistischen Zusammenstellungen, wie sie uns die zahlreichen Erdbebenkataloge bieten: entweder kurzfristige für die Gesamterde bezw. wenigstens für größere Gebiete, oder Jahrzehnte bis Jahrhunderte umfassende für einzelne Orte oder kleinere Gebiete. Sehr zweckmäßig geschieht die erste Anordnung des Materials, an dem natürlich sachgemäße und strenge Kritik[1]) zu üben ist, in der Art der Zettelkataloge, während für dessen Veröffentlichung die von Rudolph in seinem bereits zitierten Katalog für 1903 befolgte Art und Weise als vorbildlich gelten kann. Sobald wir uns mit größeren Gebietsteilen beschäf-

[1]) Vgl. Erdbebenkunde S. 283 ff. — Besondere Vorsicht erheischt der Gebrauch von Zeitungsnotizen, die in zahlreichen Fällen leider die alleinige Quelle bilden. Denn zunächst erweisen sich viele solcher Nachrichten als stark übertrieben oder gar vollständig aus der Luft gegriffen, außerdem führt die ganz verwerfliche Redewendung „heute“ oder „gestern“ meist zu einer falschen Datierung.

tigen, müssen wir die Zeitunterschiede zwischen den einzelnen Orten berücksichtigen, d. h. der Vergleichbarkeit halber alle lokal gebräuchliche Zeiten auf eine Einheitszeit umrechnen, als welche ein für allemal die Zeit des Meridians der Sternwarte von Greenwich, mittlere Greenwichzeit, gewählt worden ist. Dabei werden, mit Mitternacht $= 0^h$ beginnend, die Stunden bis 24^h durchgezählt. Eine sehr detaillierte Zusammenstellung über die in den verschiedenen Ländern üblichen Zeitzählungen gibt J. Milne[1]). Handelt es sich um Ortszeit, so entnimmt man entweder den Tabellen, wie sie in zahlreichen geographischen und astronomischen Jahrbüchern enthalten sind, den Zeitunterschied gegen Greenwich unmittelbar, oder aber man bestimmt an der Hand von Karten die geographische Länge. Für die Umrechnung der Grade (1 Äquatorgrad = 111,18 km) in Zeit hat man bloß zu beachten, daß 1 Bogensekunde = 0,067 Zeitsekunde, 1 Bogenminute = 4 Zeitsekunden und 1 Grad = 4 Zeitminuten ist; auch gibt es Tabellen[2]) zur direkten Entnahme der Werte. Wenn nur annähernde Schätzung in Frage kommt, etwa zur Identifizierung eines Seismogramms mit einem Erdbeben, erweist sich die sogenannte „Weltuhr"[3]) von L. Fialowski und C. Kogutowicz als ein bequemes und zuverlässiges Hilfsmittel.

Als weiteres unerläßliches Hilfsmittel sind die Ortslexika zu nennen, welche uns das Auffinden der meisten in Betracht kommenden Orte erst ermöglichen; die den großen Atlanten, so von André, Debes und Stieler beigegebenen Ortsverzeichnisse können natürlich für diese Zwecke absolut nicht ausreichen. Wenn man von dem achtbändigen „Dictionnaire de Géographie" des Vivien de Saint-Martin absieht, das infolge seiner Kostspieligkeit nur in großen Bibliotheken anzutreffen und zudem teils schon recht veraltet ist, erscheint am zweckmäßigsten die neunte Ausgabe (1905) des altbewährten Ritters „Geopraphisch-statistischen Lexikons"[4]), dessen Preis von 50 Mark bei der Fülle und Güte des Gebotenen als sehr mäßig bezeichnet werden muß.

Je größer das auf Grund dieser Kataloge vom Geographen bearbeitete Gebiet ist, desto höhere Anforderungen werden naturgemäß an seine Fähigkeiten, an sein Vertrautsein mit den natürlichen, namentlich tektonischen

---

1) J. Milne, Civil time. Geographical Journal Bd. XIV, 1899.

2) Z. B. in manchen Jahrgängen (etwa 1906, S. 238) des Annuaire publié par le Bureau des Longitudes. Paris, Gauthiers-Villars.

3) Verlag des Ung. geographischen Instituts, Akt.-Gesellsch., Budapest; mit Begleitheft Preis 1,50 Mark.

4) Ritters Geographisch-statistisches Lexikon über die Erdteile, Länder, Meere, Häfen, Seen, Flüsse, Inseln, Gebirge, Staaten, Städte, Flecken, Dörfer, Bäder, Kanäle, Eisenbahnen, Post- und Telegraphenämter u. s. w. Neunte, vollständig umgearbeitete, sehr stark vermehrte und verbesserte Auflage, unter der Redaktion von Johannes Penzler, ca. 2600 gespaltene Seiten. Leipzig, Otto Wiegand. 1905.

und morphogenetischen Verhältnissen der untersuchten Länder gestellt, umso großzügiger, allgemeiner werden aber auch die Resultate. Anderseits wird die Bearbeitung kleinerer Landflächen ein tieferes Eindringen in die Einzelheiten gestatten. Daß die in letzter Zeit sich mehr und mehr bemerkbar machende Abneigung gegen die Erdbebenstatistiken durchaus unberechtigt ist, zeigen u. a. so recht deutlich die auf solchen beruhenden höchst wertvollen Arbeiten von F. de Montessus de Ballore[1]) und C. Regelmann[2]). Sie sind ihrer Art nach bis jetzt Unika und, ersteres für die Beurteilung der seismischen Erscheinungen der Gesamterde, letzteres für die Süddeutschlands, von so hoher, wissenschaftlicher Bedeutung, daß die Durchführung ähnlicher Untersuchungen nicht genug anempfohlen werden kann.

Mikroseismische Messungen.

Es erscheint angebracht, der Besprechung der instrumentellen Beobachtungsmethoden einige allgemeine Erörterungen über das Wesen der Erdbebenwellen und die Seismometrie voraufzuschicken.

Die seismischen Wellen.

Findet in der Erdtiefe eine plötzliche Verschiebung der Gesteinsmassen längs einer bereits bestehenden oder neu gebildeten Bruchfläche statt, so daß die Schollen aus ihrem labilen Gleichgewicht in eine neue Ruhelage hineinschwingen, dann wird seismische Energie frei. Namentlich infolge der Reibung entstehen heftige Erschütterungen, welche die der Gleitfläche nahen Schollenteile in elastischen Schwingungen kurzer Periode erzittern lassen; ihnen kommt die zerstörende Kraft zu. Die Bodenschwingungen greifen natürlich immer weiter um sich, wobei sie, wie gleich hier bemerkt sei, mannigfaltige Modifikationen erleiden. An der Erdoberfläche werden sie am stärksten körperlich gefühlt im „Epizentrum", dem Gebiete, welches sich senkrecht über dem „Bebenherde oder Hypozentrum" befindet. Wenige 100 km vom Epizentrum entfernt hört zwar die Wahrnehmung durch die menschlichen Sinnesorgane auf; jedoch vermögen die Erdbebenmeßinstrumente oder „Seismometer" selbst außerhalb dieser „makroseismischen" Zone, deren Durchmesser mit wachsender Herdtiefe zunimmt, im „mikroseismischen" Gebiete, nicht allein den Vorüberzug der Erdbebenwellen nachzuweisen, sondern die Einzelwellen auch nach Art und Form aufzuzeichnen.

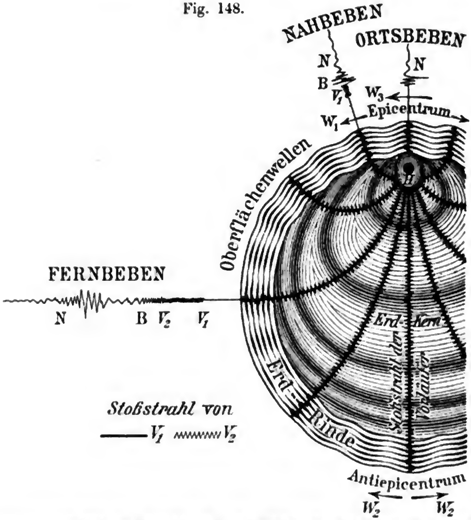
1) F. de Montessus de Ballore, Les tremblements de terre. Géographie séismologique, 475 S., 3 Kartenbeilagen. Paris, Armand Colin, 1906.

2) C. Regelmann, Erdbebenherde und Herdlinien in Südwestdeutschland. Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg, Jahrg. 1907, S. 110—176; dazu die vom gleichen Verfasser bearbeitete 7. Aufl. (1907) der Geologischen Übersichtskarte von Württemberg und Baden, dem Elsaß, der Pfalz und den weiterhin angrenzenden Gebieten.

So wird die flüchtige Erscheinung im Bilde festgehalten und der nachträglichen Untersuchung zugänglich gemacht.

Die instrumentellen Erdbebenregistrierungen, die „Seismogramme", zeigen von einer gewissen Epizentralentfernung ab ihre typische Ausbildung. Drei „Phasen", Gruppen von zusammengehörigen Wellenzügen, sind dann zu unterscheiden, welche man als die „e r s t e n (V_1) und z w e i t e n V o r l ä u f e r (V_2)", sowie als die „l a n g e n W e l l e n d e s H a u p t b e b e n s (B)" bezeichnet. Bestimmt man aus den verschiedenenorts

Fig. 148.



Schematische Darstellung der Fortpflanzung der seismischen Wellen und ihres Erscheinens im Seismogramm. Nach A. Sieberg.

angestellten Registrierungen ein und desselben Bebens die Geschwindigkeit, mit der die seismischen Wellen am Seismometerstandorte eintreffen, so findet man: Nur die langen Wellen des Hauptbebens behalten, unabhängig von der auf der Erdoberfläche gemessenen Epizentralentfernung, für die Geschwindigkeit einen nahezu konstanten Wert, während bei den Vorläufern die Geschwindigkeit des Fortschreitens mit dem Abstande vom Epizentrum wächst. Diese Beobachtung zeigt aber, daß die langen Wellen an der Erdoberfläche dahinziehen, während die Vorläufer in die Erdtiefe hinabsteigen, wo sie Wege schnellerer Fortleitung vorfinden.

Daraufhin können wir, in kurzer Zusammenfassung der zur Zeit vorliegenden Ergebnisse der instrumentellen Erdbebenmessung, folgendes Bild von den die Erdbeben beherrschenden physikalischen Verhältnissen entwerfen:

Von dem etwa 50—100 km unter der Erdoberfläche gelegenen Hypozentrum H aus, vergl. Fig. 148, pflanzt sich die seismische Energie nach allen Seiten hin durch den ganzen Erdball als elastische Schwingungen in der Form kugelähnlich geschlossener Wellen fort. Infolge des Dichtigkeitswechsels in den verschiedenen Erdschichten, der sich nach dem Erdmittelpunkt hin in einer Zunahme und damit in einer Vergrößerung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit äußert, sind die Wellenflächen um H herum exzentrisch gelagert. Dies bedingt aber eine nach dem Erdinnern zu konvexe Krümmung des „Stoßstrahls" (= Wellennormale, d. i. eine auf sämtlichen Wellenflächen senkrecht stehende Linie), welcher den Weg der Fortpflanzung der Bebenenergie im Erdinnern nach einer bestimmten Richtung hin darstellt. Im allgemeinen ist ja der Stoßstrahl ein Kegelschnitt, welcher durch den Erdbebenherd geht und den Erdmittelpunkt zum Zentrum hat, bezüglich seiner Gestalt (Ellipse, Parabel oder Hyperbel) aber vom Brechungsindex der durchlaufenen Erdschichten bestimmt wird. Am größten ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei Longitudinalwellen, und als solche haben wir die ersten Vorläufer V_1 aufzufassen, bei denen die an der Erdoberfläche (also längs des Bogens des durch das Epizentrum und die Seismometerstation gelegten größten Kreises) gemessene „scheinbare" Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Mittel 14.1 km pro Sekunde beträgt. Etwas mehr als halb so groß ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei Transversalwellen, wie es die zweiten Vorläufer V_2 mit einer mittleren scheinbaren Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 7,5 km pro Sekunde sind. Im Epizentrum erzeugen die austretenden „Kugelwellen" senkrecht von unten nach oben gerichtete Stöße. Nach dem Huyghensschen Prinzip muß nun das Epizentrum wiederum seine eigenen Wellenzüge entsenden, und zwar Transversalwellen, welche jedoch längs der Oberfläche der Erde ihre Kreise ziehen. Diese „Oberflächenwellen", deren mittlere Geschwindigkeit nur 3,8 km pro Sekunde beträgt, veranlassen gewöhnlich in großen Epizentralentfernungen die größten Schwingungen des Erdbodens und fallen somit in den Seismogrammen am meisten auf, weswegen diese Phase B eben die Bezeichnung „Hauptbeben" führt. Die Ansichten über die Natur der langen Wellen sind noch geteilt. Während man sie eine Zeitlang als eine Art Gravitationswellen („Neigungswellen") der äußeren Erdkruste betrachtete, gewinnt jetzt mehr und mehr die Anschauung an Boden, es handle sich um elastische Verschiebungswellen; hat doch Schlüter experimentell gezeigt, daß die durch diese Wellenbewegung hervorgerufenen Bodenneigungen sehr klein und jedenfalls nicht meßbar sind.

Die bisher besprochenen Beobachtungen werfen ein bedeutungsvolles Licht auf die Beschaffenheit des Erdkörpers. Elastizitätswellen, die sich nahezu parallel einer Kugeloberfläche fortpflanzen, ergeben notwendigerweise einen gegen den Erdmittelpunkt konkav gekrümmten Stoßstrahl in Gestalt eines Kreises oder einer Spirale mit eng aneinander liegenden Windungen. Dies erfordert nach dem Brechungsgesetz innerhalb der vom Wellenstrahl durchlaufenen Schicht eine gegen den Erdmittelpunkt hin abnehmende Fortpflanzungsgeschwindigkeit, was mit den Beobachtungen über die Vorläuferstrahlen in Widerspruch steht. Jedoch verschwindet dieser Widerspruch unter der Annahme einer der Erdoberfläche verhältnismäßig nahen, dünnen Schicht, in welcher vom übrigen Erdkörper abweichende Brechungsverhältnisse herrschen. Als Dicke dieser Erdrinde haben E. Wiechert und H. Benndorf auf verschiedenem Wege übereinstimmend $^1/_5$ des Erdradius gefunden, worauf mit plötzlicher Änderung des Materials der Erdkern beginnt.

Die Oberflächenwellen nehmen, wenn man das Epizentrum als Pol betrachtet, bis zum Äquator an Energie ab, von dort bis zum gegenüberliegenden Pole, dem „Gegenpunkt“ oder „Antiepizentrum“, wieder zu; bis zu diesem Punkte bezeichnet man sie auch als „W_1-Wellen“. Da aber ein Teil der Energie auf dem langen Wege durch Absorption verloren geht, so beträgt nach den Untersuchungen von G. Angenheister[1]) die im Antiepizentrum gesammelte Energie nur noch den 490. Teil der ursprünglichen (= $^1/_{22}$ der Amplitude der wahren Bodenbewegung). Nunmehr übernimmt das Antiepizentrum die Rolle des Epizentrums; die von ihm ausgesandten Oberflächenwellen, „W_2-Wellen“, weisen bei ihrer Rückkehr am Epizentrum nur noch den 242500. Teil der ursprünglichen Energie auf (= $^1/_{490}$ der wahren Amplitude). Dieses Hin- und Zurückströmen hält so lange an, bis sämtliche Energie aufgebraucht ist. Jedoch konnten „W_3-Wellen“ bisher nur selten beobachtet werden.

Aus den bisherigen Erörterungen erhellt ohne weiteres, daß die Wellen der einzelnen zusammengehörigen Gruppen, der „Phasen“ im Seismogramm, umso später nacheinander eintreffen, je weiter der Seismometerstandort vom Epizentrum entfernt ist. Umgekehrt gibt uns also die Länge der einzelnen Phasen im Seismogramm ein Mittel an die Hand, den Abstand des Epizentrums von der Beobachtungsstation zu berechnen.

---

[1]) G. Angenheister, Bestimmung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Absorption von Erdbebenwellen, die durch den Gegenpunkt des Herdes gegangen sind. Nachrichten von der Königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, mathem.-physik. Klasse 1906, S. 110 ff. — Derselbe, Seismische Registrierungen in Göttingen im Jahre 1905. Ebenda S. 357 ff. — F. Åkerblom, Vergleichung der Diagramme aus Upsala und Göttingen von Fernbeben, deren Wellen die Erde umkreist haben. Ebenda S. 121 ff.

So rein, wie man nach der bisherigen Darlegung erwarten sollte, zeigen sich die Wellen im Seismogramm im allgemeinen nicht. Die Erde, welche die Bebenwellen fortleitet, ist ein diskontinuierliches Medium,

Fig. 149.



Reflexion der Vorläuferwellen. Nach E. Wiechert.

weshalb die Wellennormale mancherlei Brechungen erleidet. Erdschollen, die eine von der ursprünglichen Wellenperiode verschiedene Eigenperiode besitzen, absorbieren einen Teil der Wellenenergie und strahlen sie mit

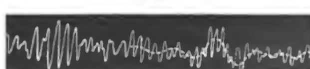
Fig. 150.



Die reflektierten Vorläuferwellen im Seismogramm.

ihrer Eigenperiode wieder aus. Vor allem die Oberflächenwellen werden durch mancherlei örtliche Verhältnisse, beispielsweise Quertäler, Reflexion an Gebirgsmassen etc. in ihrer Richtung und Intensität geändert. Die Vorläuferwellen erleiden totale Reflexion (Fig. 149) beim Übertritt in die Erdrinde, und diese reflektierten Wellen sind im Seismogramm häufig nachweisbar (Fig. 150). Alles dies tritt schon auffällig in die Erscheinung, wenn der Bewegungsimpuls im Hypozentrum nur einen einzigen Stoß bildete, wird aber umso stärker mit der Anzahl der Stöße. Überhaupt wird man in der Mehrzahl der Fälle mit einer Reihe von Stößen zu tun haben, da sich einesteils infolge der Elastizität der Scholle, anderseits wegen der nachträglichen Auslösung kleiner Spannungen die Ruhe erst allmählich einstellen wird. Es ist demnach schon eo ipso zu erwarten, daß den Wellen der normalen Phasen,

Fig. 151.



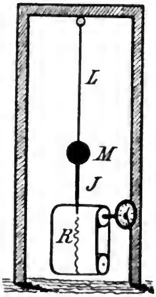
Den langen Wellen superponierte kurzperiodische Wellen im Seismogramm.

namentlich aber den „langen Wellen“, sekundäre Wellenzüge verschiedener Periode übergelagert (superponiert) sind, die häufig die Normalwelle kaum erkennen lassen (Fig. 151).

Die Seismometer.

Wenden wir uns nunmehr den selbsttätig (automatisch) registrierenden Erdbebenmeßinstrumenten, den „Seismometern“ zu. Bei der großen Zahl von Seismometern, welche sich mit jedem Tage noch vergrößert, ist natürlich an dieser Stelle an ihre Beschreibung[1]) nicht zu denken. Dagegen sei ihre Theorie, die wir den klassischen Arbeiten von E. Wiechert[2]) verdanken, und die eigentlich die zielbewußte, wissenschaftliche Seismometrie erst ermöglichte, wenigstens in den Hauptzügen leicht verständlich dargelegt. Damit wird der Leser zugleich in den Stand gesetzt, eine jedem Sonderzwecke Rechnung tragende Auswahl unter den vorhandenen Seismometern zu treffen.

Fig. 152.



Schema eines Seismometers.

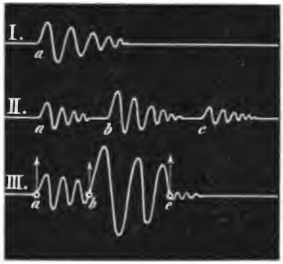
Als Seismometer (Fig. 152) dienen verschieden ausgestattete Pendel, welche ihre Bewegung mittels eines Schreibhebels J auf einen mit Zeitmarkierung versehenen und durch ein Uhrwerk vorwärts bewegten Papierstreifen R ununterbrochen aufzeichnen. Unter

[1]) Eine kurze Beschreibung der wichtigsten Seismometer bringt S. 236 ff. der Erdbebenkunde. Hier sind auch neben theoretischen Erörterungen allgemeiner Art (S. 207 ff.) die für die Unterkunftsräume (S. 221 ff.), die Behandlung der Registrierstreifen (S. 223 ff.) etc. in Betracht kommenden Gesichtspunkte erörtert. Weiterhin wären zu beachten die Spezialabhandlungen: E. Wiechert, Das Institut für Geophysik der Universität Göttingen S. 162 ff. der Festschrift 1906, „Die physikalischen Institute der Universität Göttingen“. Leipzig, B. G. Teubner, 1906. Derselbe, Ein astatisches Pendel hoher Empfindlichkeit zur mechanischen Registrierung von Erdbeben. Bd. IV, 1903, S. 435 ff. von Gerlands Beiträge zur Geophysik; mit Zusätzen auch abgedruckt Physikalische Zeitschrift 1903, Bd. IV, S. 821. Für die italienischen Seismometer: G. Agamennone, La Registrazione dei Terremoti, 136 S., Nr. 1 der „Biblioteca del Elettricista“. Roma 1906.

[2]) Die ausführliche mathematische Entwicklung findet sich in E. Wiechert, Theorie der automatischen Seismographen. Abhandl. d. Königl. Gesellsch. d. Wissenschaften zu Göttingen, mathem.-physik. Klasse, Neue Folge Bd. II, Nr. 1. Berlin 1903. Der mathematisch nicht Vorgebildete sei auf die ebenso gründliche, wie leicht faßliche Darstellung von C. Mainka, Kurze Übersicht über die modernen Erdbebeninstrumente, in „Der Mechaniker“, XV, S. 97 ff., Berlin, F. u. M. Harwitz. 1907 (auch als besondere Broschüre), besonders hingewiesen, welche mancherlei neue und für die Praxis, namentlich den Bau von Seismometern, wichtige Hinweise enthält.

der Voraussetzung eines „mathematischen“ Pendels, bei dem die Pendelmasse M als punktförmig und die Masse des Aufhängestabes L als im Verhältnis verschwindend klein angesehen werden darf, bleibt die Pendelmasse bei kleinen und schnellen horizontalen Verschiebungen des Erdbodens und der mit letzterem starr verbundenen Aufhängevorrichtung des Pendels unbewegt, „stationär“. Es schreibt also das unbewegte Pendel auf die mit dem Erdboden schwingende Registriervorrichtung. Da wir es aber in Wirklichkeit mit „physischen“ Pendeln zu tun haben, so werden die Bewegungsverhältnisse viel komplizierter, weil das Pendel stets mehr oder minder erzwungene Schwingungen vollführen muß. Vor allen Dingen überträgt sich infolge der Reibung im Gehänge die Bodenbewegung auf das Pendel und bringt dieses zum Mitschwingen in der ihm eigentümlichen Eigenperiode, so daß die aufgezeichnete Störungsfigur absolut nicht mehr den reellen Bodenbewegungen entspricht. Im allgemeinen spricht jedes Pendel auf diejenigen Wellen am besten an, deren Perioden nahe mit der Eigenperiode des Pendels zusammenfallen. Je nachdem die Erdbebenschwingungen mit den Eigenschwingungen des Pendels in gleichem oder in entgegengesetztem Sinne erfolgen, vergrößern oder verkleinern sich im Seismogramm die Amplituden. Dieses Verhalten veranschaulicht am besten Fig. 153: Bei I erlitt das Pendel einen Stoß, nach welchem es infolge der Trägheit noch weitere Sinusschwingungen vollführte, deren Amplitude durch die Reibung allmählich abnahm. Bei II haben wir es mit drei Stößen zu tun, deren jeder das in Ruhe befindliche Pendel traf. Bei III schließlich erhielt das Pendel den ersten Stoß im Punkte a, und noch während der dadurch hervorgerufenen Eigenschwingung bekam es in b den zweiten Stoß, welcher seine Amplitude noch vergrößerte; in c aber erhielt es einen der Bewegungsrichtung entgegengesetzten Stoß von solcher Stärke, daß es beinahe zur Ruhe kam. Aus der Praxis ist bekannt, daß die Registrierungen mittels des Vicentinipendels fast stets kurz nach Beginn von V_1 das Diagramm-Maximum zeigen, welches absolut nicht mit dem Maximum der wirklichen Bodenbewegung identisch ist, weil eben die Eigenperiode ($1\frac{1}{2}$—2 Sekunden) mit der Periode von V_1 nahezu zusammenfällt. Ein Mittel, der auf solche Weise gegebenen Fehlerquelle zu begegnen, bietet die Anwendung einer geeigneten „Dämpfung“, da sie dem Pendel die Aufnahme von Eigenschwingungen unmöglich macht; am besten erweist sich ein Dämpfungsverhältnis von 1:5 oder 8. Die Dämpfung beeinflußt

Fig. 153.



Schwingungen eines ungedämpften Pendels. Nach A. Bücky.

aber nicht allein die Amplitude, sondern läßt auch die Phasendifferenz von 180° abweichen. Einer Dämpfung kann man jedoch in solchen Fällen entraten, wo die Eigenperiode des Pendels viel langsamer als die Periode der Erdbebenwelle ist, also etwa bei 60 Sekunden liegt; in einem solchen Falle bleibt die Pendelmasse fast stationär und das Beben wird konform aufgezeichnet. Es besteht dann zwischen der Bewegung der Erde und der im Seismogramm eine Phasendifferenz von 180°, d. h. bei einem Stoße aus der Richtung von Nord nach Süd schlägt das Pendel von Süd nach Nord aus. In dem entgegengesetzten Falle aber, daß die Erdbebenschwingung viel langsamer ist als die Eigenperiode des Pendels, bewegt sich die Pendelmasse beinahe übereinstimmend mit dem Aufhängepunkte; von einem stationären Punkte kann also keine Rede sein und somit auch nicht von einer Registrierung.

Je nachdem die horizontale oder die vertikale Komponente der Erdbeben zur Aufzeichnung gelangen soll, unterscheidet man zwischen Horizontal- und Vertikal-Seismographen; die ersteren reagieren zugleich auf Neigungen. Beide werden weiterhin durch Änderungen der Schwerkraft beeinflußt, und zwar die ersteren durch das Hinzutreten einer horizontalen, die letzteren durch dasjenige einer vertikalen Komponente zur Schwerkraft. Sieht man von ungewöhnlichen Konstruktionen und Verhältnissen ab, so wird die Wirksamkeit eines jeden Seismometers außer durch die Registriergeschwindigkeit und die Feinheit der Registrierkurven bestimmt durch die stets schädliche, weil die Einzelheiten der Registrierung unterdrückende Reibung, den Betrag der Dämpfung und zwei weitere charakteristische Konstanten, nämlich die „Eigenperiode“ des Pendels und die sogenannte „Indikatorvergrößerung“. Unter der Indikatorvergrößerung V versteht man die Vergrößerung sehr schneller Bodenbewegungen, während die mit T_o bezeichnete Eigenperiode, genauer gesprochen „reduzierte“ Eigenperiode, die Periode (Hin- und Hergang, also eine „Doppelschwingung“) des Pendels bei ausgeschalteter Dämpfung und ausgeschalteter Reibung am Schreibstift („Indikator“) bedeutet.

Jedes Horizontalseismometer verhält sich gerade so wie ein einfaches, vertikal herabhängendes mathematisches Pendel. Bezeichnet bei einem derartigen einfachen Apparat (Fig. 152) L die „Pendellänge“ und J die „Indikatorlänge“, so bestehen die Beziehungen

$$(1) \qquad V = \frac{J}{L}, \text{ und}$$

$$(2) \qquad T_o = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}},$$

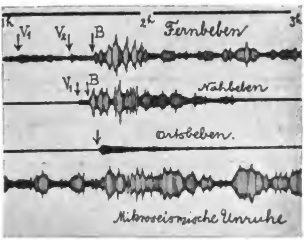
wobei g die Intensität der Schwerkraft bedeutet; sehr nahe ist $T_0 = 2 \sqrt{L}$, wenn T_0 nach Sekunden und L nach Metern gerechnet wird. An ein solches einfaches vertikales Pendel gleicher Wirkung denkend, wird man bei Horizontalseismometern beliebiger Konstruktion die durch T_0 bestimmte Größe L „äquivalente Pendellänge" und die durch $J = LV$ bestimmte Größe J „äquivalente Indikatorlänge" nennen können. In übertragenem Sinne darf man auch für Vertikalseismometer den Größen L und J die gleichen Namen beilegen. Die äquivalente Indikatorlänge J tritt in gewisser Hinsicht in eine Parallele zu V. Während nämlich V die Vergrößerung sehr schneller Bodenbewegungen angibt, bietet J ein Maß für die Empfindlichkeit des Instrumentes gegenüber sehr langsamen Bodenbewegungen, indem bei solchen die Indikatorausschläge proportional mit J erfolgen. Die äquivalente Indikatorlänge J mißt ferner auch die Empfindlichkeit gegen Schwerkraftänderungen. Für Horizontalseismometer gibt J die Neigungsempfindlichkeit an. Beachtet man weiter, daß eine Bogensekunde auf dem Umfange eines Kreises rund den 206000sten Teil des Radius angibt, so läßt sich folgern, daß $E = J/206\,000$ den Ausschlag des Indikators für 1 Bogensekunde Neigung angibt; die so bestimmte Größe E wird in der Praxis meist als Maß für die „Neigungsempfindlichkeit" verwandt. E stellt natürlich ebenso wie J auch ein Maß für die Empfindlichkeit des Seismometers gegenüber sehr langsamen Schwingungen des Erdbodens und gegenüber Schwerkraftänderungen dar; speziell für letztere gibt E den Ausschlag an, der dem Hinzutreten einer Komponente im Betrage des 206000sten Teils der Gesamtintensität der Schwerkraft ($g = 9780$) entspricht.

Für die Praxis ist im Auge zu behalten, daß bei den photographisch registrierenden Seismometern die Reibung viel geringer ist als bei den mechanisch in Ruß oder gar mit Bleistift oder Tinte schreibenden. Dagegen bieten die letzteren den sehr ins Gewicht fallenden Vorteil scharfer, bei der Rußschrift oft mikroskopisch feiner Linien, welche den wirklichen ersten Einsatz selbst der kleinen Wellchen von V_1 durchweg mit größerer Sicherheit erkennen lassen, als es bei den erheblich breiteren und oft sehr blassen photographischen Linien der Fall ist, ganz abgesehen von der bequemeren Bedienung und den bedeutend geringeren Betriebskosten. Die Registriergeschwindigkeit muß, um brauchbare Resultate zu liefern, die Einzelwellen erkennen lassen; dies zeigt ohne weiteres ein Vergleich der in Fig. 154 und Fig. 163 u. 164 reproduzierten Seismogramme. Für die Beobachtung kurzer Perioden wählt man also eine Geschwindigkeit von mindestens 50—60 cm pro Stunde, am besten aber 90 cm pro Stunde, während man für die langperiodischen Wellen kleiner Registriergeschwindigkeit den Vorzug gibt.

Je nach dem Sonderzweck, den das Seismometer zu erfüllen hat, muß

man dasselbe auswählen. Im allgemeinen sprechen wenig empfindliche Apparate auf schwache Beben ungenügend an, während hoch empfindliche bei sehr starken Nahbeben nicht mehr ordnungsmäßig registrieren. Speziell bei den Nahbeben, namentlich den schwachen, wie sie in Mitteleuropa auftreten, kommt es darauf an, kurze Erschütterungen mit starker Vergrößerung aufzuzeichnen, ohne daß langperiodische Wellen das Seismogramm undeutlich machen. Man wird also Seismometer mit $T_0 \leqq 6$ Sekunden, also auch kleinem L und J wählen bei starker Vergrößerung, etwa $V =$ 1000—2000. Für die Registrierung langperiodischer Wellen, die nicht durch Erschütterungen kurzer Periode gestört werden sollen, nimmt man J und T_0, also auch L groß und V klein. Alle weiter entfernten Beben, wie sie mittleren Verhältnissen entsprechen, werden am besten bei $T_0 = 6$—20 Sekunden aufgezeichnet. Wendet man jedoch seine spezielle Aufmerksamkeit den Wellen sehr langer Perioden zu, welche stets an die gewaltigen, meist außereuropäischen Katastrophenbeben geknüpft sind, dann wird man T_0 in die Reihe von 50—60 Sekunden bringen. Da in solchen Fällen die Amplituden der wahren Bodenbewegung zwischen einigen Hundertstelmillimetern und wenigen Zentimetern variieren, so ist eine 100—200fache Vergrößerung zu erstreben.

Fig. 154.



Photographische Seismometeraufzeichnungen, ohne Dämpfung, Registriergeschwindigkeit nur 3 cm pro Stunde.

Es empfiehlt sich also, entsprechend diesen Gruppen von Beben, die auf S. 316 noch näher charakterisiert werden, mehrere geeignete Arten von Seismometern in Betrieb zu halten, und zwar tunlichst sowohl für die horizontale, als für die vertikale Komponente. Dann wird man erwarten dürfen, von der Mehrzahl der Erdbeben brauchbare Aufzeichnungen zu erzielen.

Die Bestimmung der Zeitkorrektion.

Eine noch viel wichtigere Rolle als in der Makroseismik spielt natürlich die Güte der Zeiten bei der Seismometrie, entspricht doch einem Zeitfehler von 1 Minute ein Fehler von 1000 km in der Epizentralentfernung. Für die mikroseismischen Angaben sollten die Zeiten tunlichst auf die Sekunde (= 17 km) genau sein, jedoch sind für Stationen II. Ordnung Zeitfehler bis zu ± 3 Sekunden (± 50 km) zulässig.

Die Bestimmung der an den Ausmessungen anzubringenden Uhrkorrektionen ist an jenen Orten am leichtesten und genauesten zu bewerk-

stelligen, wo sich eine Sternwarte befindet. Man braucht dann nur die Normaluhr[1]) der Erdbebenstation mit der Sternwartenuhr 1—2mal pro Woche telephonisch oder durch elektrische Klingelzeichen oder aber mit Hilfe eines genau gehenden Taschenchronometers zu vergleichen. Dabei ist jedoch zu beachten, daß nur die aus den Zeitbeobachtungen abgeleiteten definitiven Zeitkorrektionen in Betracht kommen dürfen.

Wo Sternwarten fehlen, ist man auf eigene Mittagsbestimmungen angewiesen. Sehr zu empfehlen für diesen Zweck ist der „Bambergsche Sonnenspiegel“[2]) wegen der geringen Anschaffungskosten (150 Mark einschließlich Transportkasten und Tabellen), einfachen Handhabung und Berechnung (besteht nur im Addieren weniger Tabellenwerte), sowie der für Stationen II. Ordnung hinreichend großen Genauigkeit, trotzdem man nicht an die genaue Bestimmung und Festhaltung des Meridians gebunden ist.

Das Messen der Seismogramme.

Die messende Analyse der Seismogramme soll uns zwar in erster Linie Aufschluß gewähren über die durch das Erdbeben am Seismometerstandorte ausgelösten Bodenbewegungen. Allgemeinere Gesichtspunkte ergeben sich aber erst durch den Vergleich der an den verschiedensten Orten der Erde gewonnenen Messungsergebnisse. Da nun die Seismogramme häufig genug keine streng eindeutige Auffassung zulassen, so gewinnt das subjektive Moment des Messenden auf die Analyse einen großen Einfluß. Vergleichende Untersuchungen dürfen sich also nicht auf das mikroseismische Zahlenmaterial der Institutsberichte stützen, sondern nur auf die eigenen Analysen der Originalseismogramme oder mit diesen durchaus konformer Kontaktkopien oder Photographien; Pausen sind natürlich nicht brauchbar.

[1]) Vorzügliche Normaluhren liefern Straßer & Rohde in Glashütte in Sachsen, sowie S. Riefler in München. Vgl. S. Riefler, Die Präzisionsuhren mit vollkommen freiem Echappement und neuem Quecksilberkompensationspendel, sowie die Regulierung und Behandlung derselben. München 1894. Derselbe, Das Nickelstahlkompensationspendel, D.R.P. Nr. 100 870. München 1902.

Die Normaluhr sollte niemals zugleich als Kontaktuhr zum Auslösen der Zeitmarken im Seismometer dienen, jedoch können Stationen II. Ordnung der Normaluhr entbehren und sich mit einer Kontaktuhr begnügen; solche liefern preiswert (150 Mark) und in vorzüglicher Ausführung die Werkstätten für Präzisionsmechanik von Spindler & Hoyer in Göttingen.

[2]) Konstruiert und hergestellt von der Firma Carl Bamberg in Friedenau bei Berlin. Vgl. dazu H. Clemens, Mittagsbestimmung durch korrespondierende Sonnenhöhen mittels des Bambergschen Sonnenspiegels. Zeitschr. f. Instrumentenkunde Jahrg. 26, S. 137 ff. Berlin 1906; Hilfsmittel zur Bestimmung der mitteleuropäischen Zeit auf Grund von Beobachtungen an Sonnenuhren, Sonnenloten u. dgl., bestehend in Tabellen zur genäherten Berechnung der Zeitgleichung nebst Gebrauchsanweisung; gilt für 4 Jahre von jedem Schaltjahr ab. Berlin, F. Dümmler. Preis 60 Pfg.

Die hierbei in Betracht kommenden Gesichtspunkte und noch wenig bekannten Methoden seien nachstehend kurz angegeben.

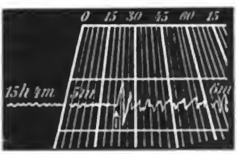
Wir müssen kennen:

1. Die Eintrittszeiten der wichtigsten Phasen im Seismogramm, also die Eintrittszeiten von V_1, V_2, B und von M, d. i. das Maximum der wirklichen Bodenbewegung, der Nachläufer N, sowie des Aufhörens F der sichtbaren Bewegung.

Zum Auffinden kleinerer Wellen bedarf man einer stark vergrößernden, möglichst aplanatischen Lupe mit größerem Gesichtsfelde; die Brennweite soll 2—3 cm betragen, damit man unter der Lupe wichtige Stellen des Seismogramms durch ein daran gesetztes Bleistiftzeichen markieren kann.

Am einfachsten gestaltet sich die Messung dann, wenn die Zeitmarken als Unterbrechungen u. s. w. in dem Seismogramm selbst enthalten sind. An einer aufgelegten, in Quadratmillimeter geteilten Glasplatte liest man die Anzahl von Millimetern ab, welche der betreffenden Minute zukommen, ermittelt durch Division, wieviel Sekunden auf 1 mm entfallen, und multipliziert diesen Faktor mit der Millimeteranzahl (auf $^1/_2$ mm), womit der Beginn der fraglichen Welle zusammenfällt. Da die Minutenlängen infolge von Gangänderungen der Triebuhr des Registrierwerkes stets innerhalb gewisser Grenzen schwanken, so vereinfacht sich die Arbeit ganz bedeutend durch einmalige Berechnung einer Hilfstabelle, deren Abszisse die in Betracht kommenden Minutenlängen nach $^1/_4$ mm fortschreitend, deren Ordinate die abgelesenen Millimeter für Intervalle von $^1/_2$ mm enthält. Mittels Rechentafeln läßt sich diese Arbeit sehr schnell und sicher durchführen. Direkte Ablesung der Sekunden, also ohne Verwendung der Hilfstafel, gestattet eine Skala mit verjüngtem Maßstab (Fig. 155), wie sie die Firma Günther & Tegetmeyer in Braunschweig (bisher für Minutenlängen von 12—20 mm) herstellt.

Fig. 155.



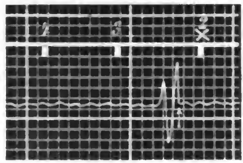
Messen mittels verjüngten Maßstabes. Erste Welle: Eintrittszeit 15 h 5 m 22 s, Periode = 5 Sek.

Sind jedoch die Zeitmarken seitlich vom Seismogramm auf besonderen Zeitlinien angebracht, dann ist mittels der quadrierten Glasplatte zunächst die Marke in das Seismogramm hinüberzuloten, worauf man in gleicher Weise wie vorher verfährt. Jedoch muß man die zwischen Zeitlinie und Erdbebenkurve bestehende „Parallaxe" ermitteln und in Rechnung ziehen; als Parallaxe bezeichnet man in diesem Falle die Differenz, welche sich aus der fast stets verschiedenen Länge des Indikators und des Zeitmarkierers ergibt. Man bestimmt die Parallaxe (Fig. 156), indem man nach dem Aufziehen eines neuen Registrierstreifens, bezw. nach jeder am In-

strument vorgenommenen Arbeit, im Augenblicke einer durch ein Kreuzchen (×) kenntlich gemachten Zeitmarke den Indikator durch Anstoßen zu einem kleinen seitlichen Ausschlage veranlaßt. Daraus ergibt sich dann in der vorbesprochenen Weise die an der direkten Abmessung anzubringende positive oder negative Zeitkorrektion.

Zu unterscheiden ist, ob die Phase mit einem scharf markierten Ausschlag (i = „impetus") einsetzt, oder aber, ob sie allmählich auftaucht (e = „emersio"); während man im ersteren Falle die Sekunde angibt, muß man sich im letzteren Falle mit der Schätzung der Minute oder bestenfalls eines größeren Bruchteiles einer Minute begnügen. Mitunter folgt auf e noch i, was dann besonders hervorzuheben ist.

Fig. 156.



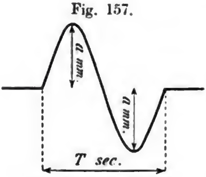
Messen der Parallaxe. Anzubringende Parallaxenkorrektion — 19 Sek.

Fernerhin sind besonders auszumessen und anzugeben ein etwaiges Auftreten der an der Erdoberfläche reflektierten Wellen in den Vorläufern (Fig. 155), sowie alle Abweichungen von der normalen Ausbildung des Seismogramms.

2. Die Perioden der charakteristischen und zeitlich bestimmten Erdbebenwellen und das Mittel gewisser Gruppen von Wellen.

Zur Unterscheidung bezeichnet man die im Seismogramm gemessene Periode der Bebenwelle als „Störungsperiode" T (Fig. 157). Als Periode gilt auch hier die Zeit für den Hin- und Hergang des Pendels, also Wellenberg + Wellental. Die Ausmessung geschieht wieder in obiger Weise mittels der Glasskala.

Fig. 157.



Periode und Amplitude.

3. Die wahre Bodenbewegung für charakteristische Wellen.

Die Amplitude (= größte Abweichung von der Ruhelage, d. i. die halbe Schwingungsweite, (Fig. 155), so wie sie durch die Messung mittels der Millimeterskala sich aus dem Seismogramm unmittelbar ergibt, ausgedrückt in Mikrons (1 Mikron $\mu = {}^1/_{1000}$ mm), bezeichnet man mit a, die unter Berücksichtigung der Vergrößerung berechnete Amplitude der wahren Bodenbewegung mit A.

a) Bei stoßartigen unregelmäßigen Schwingungen sehr kleiner Perioden, wie sie in den Vorläufern auftreten, läßt sich die absolute Erdbewegung nur in ganz roher Annäherung schätzen, und zwar nach der Gleichung:

(3) $$A = a : V, \text{ worin } V = J : L \text{ ist.}$$

A stellt dann den unteren Grenzwert dar. Eigentlich gilt (3) nur für die erste Welle. Für solche schnelle Schwingungen kommen die Reibungs- und Dämpfungsverhältnisse nicht in Betracht.

b) Exakt gestaltet sich die Rechnung erst bei periodischen Schwingungen, also den Sinusschwingungen, welche sich, wie wir noch sehen werden, in allen Phasen der Seismogramme finden lassen. Für solche Schwingungen gilt die Beziehung:

$$(4) \qquad \mathfrak{V} = V : \sqrt{\left[1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2\right]^2 + 4\left(\frac{T_0}{2\pi\tau}\right)^2 \cdot \left(\frac{T}{T_0}\right)^2}$$

Es handelt sich nun darum, die in vorstehender Gleichung enthaltenen Größen zahlenmäßig festzustellen. Vorher sei aber im Zusammenhange die Bedeutung dieser Größen festgelegt. Es ist:

T_0 = „Reduzierte Eigenperiode", d. i. die Periode, mit welcher das Pendel bei ausgeschalteter Dämpfung und bei ausgeschalteter Reibung schwingt.

L = „Äquivalente Pendellänge", d. i. die Länge eines „mathematischen" Vertikalpendels von der Eigenperiode T_0.

T = „Störungsperiode" der Erdbebenwelle, gemessen im Seismogramm.

τ = „Relaxationszeit" infolge der Dämpfung.

$\varepsilon : 1$ = „Dämpfungsverhältnis".

r = „Maximaler Reibungsausschlag" infolge der Reibung am Schreibstift.

J = „Äquivalente Indikatorlänge".

V = „Wirkliche Vergrößerung" durch den Indikator.

$\mathfrak{V}$ = „Resultierende Vergrößerung".

Bei unseren experimentellen Bestimmungen, die wir aus praktischen Gründen an dem hierfür in erster Linie geeigneten[1]) „Wiechert-

[1]) Naturgemäß kann jedes Seismometer zur Berechnung der wahren Bodenbewegung benutzt werden, falls man die oben bezeichneten Konstanten bestimmt hat. Verschieden gestaltet sich nur die Bestimmung der Indikatorvergrößerung; Anleitung dazu gibt C. Mainka l. c. Die Wiechertschen Seismometer sind so konstruiert, daß die Konstantenbestimmung tunlichst bequem und sicher von statten geht, ebenso die von C. Mainka an der Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung in Straßburg konstruierten und unter seiner Leitung in der Institutswerkstätte gebauten Seismometer. Die Wiechert-Pendel werden hergestellt von den bekannten Göttinger Werkstätten für Präzisionsmechanik, und zwar: Von G. Barthels das „astatische 1200 kg-Pendel", $V = 100$—200, T_0 bis 20 Sek., E bis 50 mm für 1 Bogensekunde Neigung; Preis 2500 M. Von Spindler & Hoyer das „1700 kg-Pendel", $V = 2200$, $T_0 = 1$—5 Sek.; Preis 5000 M. Das „kleine astatische 125 kg-Pendel", $V = 40$—100, T_0 bis 10 Sek., E bis 10 mm für 1 Bogensekunde; Preis je nach Wahl des Registrierwerkes 775 oder 875 M. Das „Horizontalpendel mit großer Eigenperiode", $V = 10$,

schen astatischen Pendelseismometer" erläutern wollen, gehen wir aus von der Gleichung für die Indikatorvergrößerung:

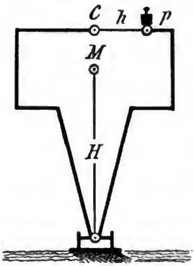
$$V = J : L. \qquad (5)$$

In dieser Gleichung müssen die Größen J und L ermittelt werden. Es ist:

Die äquivalente Pendellänge

$$L = \frac{T_0^2\, g}{4\,\pi^2}, \qquad (6)$$

Fig. 158.



Bestimmung der äquivalenten Indikatorlänge von Wiecherts astatischem 1200 kg-Pendel.

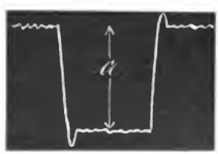
worin g die Schwerkraft = 9780 ist. T_0 wird mittels einer Stoppuhr bei ausgeschalteter Dämpfung und abgehobener Schreibfeder durch leichtes Anstoßen des Schreibarmes bestimmt.

Zur Bestimmung der äquivalenten Indikatorlänge J legt man bei ausgeschalteter Dämpfung auf die Pendelmasse (Fig. 158) in der Entfernung h vom Oberflächenmittelpunkte C ein kleines Gewicht p (etwa 10 oder 20 g). Sei dann $\mathfrak{a}$ (Fig. 159) der durch die Auflage des Gewichtes entstandene Ausschlag (gemessen in Millimetern) des Schreibstiftes, so wird, wenn p genau in die Mitte zwischen beide Komponenten gelegt wurde,

$$J \text{ Millimeter} = \frac{\mathfrak{a} \text{ Millimeter} \times M \text{ Gramm} \times H \text{ Millimeter}}{0{,}707 \times p \text{ Gramm} \times h \text{ Millimeter.}}; \qquad (7)$$

M bedeutet die Masse des Pendelkörpers und H die Höhe des genau in der Mitte des Pendelkörpers liegenden Schwerpunktes über der Biegungsebene der unteren Stützfeder im Cardanischen Gehänge.

Fig. 159.



Indikatorausschlag ohne Dämpfung infolge Auflegens von p in h.

Weiterhin bedürfen wir der Kenntnis der Relaxationszeit τ, deren Berechnung die experimentelle Bestimmung des maximalen Reibungsausschlages r und des Dämpfungsverhältnisses $\varepsilon : 1$ vorausgehen muß.

Zunächst die Reibung: Man hemmt mit der Hand die Triebuhr des Registrierwerkes so stark, daß Schwingungsfiguren des Schreibstiftes

$T_0 = 60—70$ Sek., $E =$ ca. 50 mm für 1 Bogensekunde; Preis 350 M., des Registrierwerkes 250 M. Das „Horizontalpendel III. Ordnung", $V = 30—50$, $T_0 = 10$ Sek.; Preis einer Komponente 250 M., des Registrierwerkes für zwei Komponenten 250 M. Das „photographisch registrierende Horizontalpendel", $V = 100$, $E = 30—60$ mm für 1 Bogensekunde; Preis 1800 M. Der „Vertikalseismograph", stationäre Masse 1300 kg, $V = 160$, $T_0 = 7$ Sek., $E = 10$ mm für 1 Bogensekunde; Preis 2800 M. Nähere Einzelheiten sind aus den illustrierten Katalogen dieser Firmen ersichtlich.

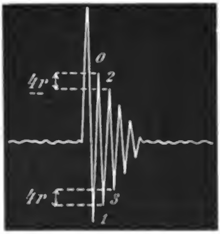
sich noch eben auflösen lassen; dadurch wird die von der Registriergeschwindigkeit bedingte Reibung auf ein Minimum reduziert. Gleichzeitig versetzt man den Indikator, natürlich bei aufgesetzter Schreibfeder, durch seitliches Anstoßen in Schwingung mäßiger Anfangsamplitude, und zwar bei ausgeschalteter Dämpfung (Fig. 160). Bezeichnen wir dann: Strecke $\overline{01} = l_0$, $\overline{12} = l_1$, $\overline{23} = l_2 \ldots \overline{(n-1)\,n} = l\,n$, so ist allgemein

$$(8) \qquad r = \frac{l_0 - l\,n}{4\,n}.$$

Das Dämpfungsverhältnis ergibt sich, wenn man denselben Vorgang, jedoch bei eingeschalteter Dämpfung (Fig. 161) wiederholt, wie folgt:

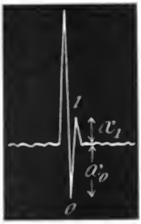
$$(9) \qquad \varepsilon : 1 = (\alpha_0 - r) : (\alpha_1 + r),$$

Fig. 160.



Bestimmung der Reibung. Registriergeschwindigkeit vermindert, ohne Dämpfung.

Fig. 161.



Bestimmung des Dämpfungsverhältnisses. Registriergeschwindigkeit vermindert, mit Dämpfung.

wenn α_0 und α_1 die halben Schwingungsweiten bedeuten. Da durch r die Reibung bei der Dämpfung berücksichtigt ist, so brauchen wir nur diesen Wert in die Gleichung für die Relaxationszeit

$$(10) \qquad \tau = \frac{T_0}{0{,}606 \log \varepsilon} \sqrt{(0{,}733 \log \varepsilon)^2 + 1}$$

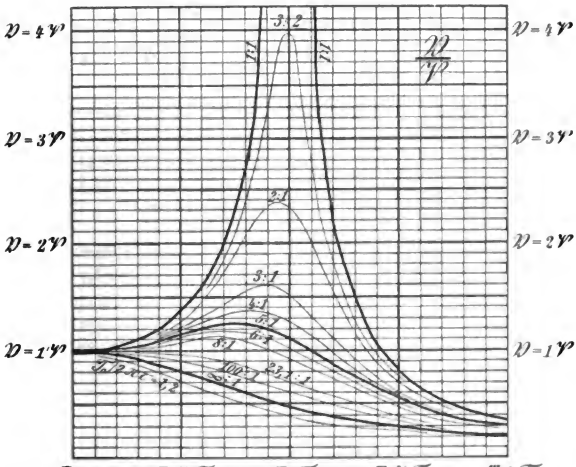
einzusetzen, der das System der Briggschen Logarithmen zu Grunde gelegt ist.

Jetzt erübrigt noch, in die Formel (4) die Werte für τ, T_0 und T einzusetzen. Am zweckmäßigsten wird $\mathfrak{V}$ für eine genügende Anzahl von Perioden bei dem jeweiligen Dämpfungsverhältnis des Seismometers berechnet und daraus eine Kurve konstruiert. Da durch molekulare Umlagerungen häufige Änderungen in den Konstanten eintreten, so sind diese etwa alle Monate neu zu bestimmen.

Für gewisse Grenzwerte, welche den meisten Vorkommnissen der

Praxis genügen dürften, hat W i e c h e r t die nachstehende g r a p h i s c h e D a r s t e l l u n g (Fig. 162) zur direkten Entnahme der Werte für $\mathfrak{V}$ entworfen; ihr Gebrauch sei an einem Zahlenbeispiel kurz dargetan: Angenommen, wir hätten gefunden $T_0 = 12$ Sek., $V = 140$, $\varepsilon : 1 = 3 : 1$, und in dem Seismogramm gemessen für eine Sinuswelle (bei starker Dämpfung kann man solche schon annehmen, wenn 2 oder 3 nahezu gleichgroße Schwingungen aufeinanderfolgen) $T = 18$ Sekunden und $a = 2$ mm $= 2000\ \mu$;

Fig. 162.



Kurven der resultierenden Vergrößerung. Nach E. Wiechert.

dann ergibt sich (T als Bruchteil von T_0 ausgedrückt) $T = 18 = {}^3/_2\ T_0$. In der graphischen Darstellung geht man die Ordinate $T = {}^3/_2\ T_0$ ein und findet als Schnittpunkt mit der Kurve für das Dämpfungsverhältnis 3 : 1 den Punkt 0,6. Es ist also $\mathfrak{V} = 0{,}6\ V = 0{,}6 \times 140 = 84$. Für die Zwecke der Praxis dürfte es kaum Wert haben, die „Phasenverschiebung“, d. i. die im Seismogramm im Verhältnis zur Wirklichkeit auftretende Verspätung des Eintreffens der periodischen Verschiebung in Rechnung zu ziehen.

Nun ergibt sich schließlich die A m p l i t u d e d e r w a h r e n B o d e n b e w e g u n g am Seismometerstandorte nach der Formel:

(11) $$A = a : \mathfrak{V}$$

oder, unter Benutzung des obenstehenden Zahlenbeispiels: $A = 2000\,\mu : 84 = 23\,\mu$.

Die Amplitude allein stellt jedoch kein Maß für die Intensität, die zerstörende Kraft der Erderschütterung dar; erst die „maximale Beschleunigung" $\triangle g$, welche auch die Periode berücksichtigt, läßt uns diese beurteilen, da, wie wir bereits betonten, die kurzperiodischen Schwingungen die verderblichen sind. Die maximale Beschleunigung berechnet sich einfach nach der Formel:

$$(12) \qquad \Delta g = \frac{4\,A}{T^2} \text{ Milligal}^{1)};$$

setzen wir unser Zahlenbeispiel fort, so erhalten wir $\Delta g = 92 : 10^2 = 92 : 324 = 0{,}3$ Milligal.

Die „maximale Bewegung M" fällt natürlich selbst bei gedämpften Pendeln bei weitem nicht immer mit der größten Amplitude des Seismogramms zusammen. Im allgemeinen liegt die Maximalbewegung umso weiter im Hauptbeben zurück, je weiter die Epizentralentfernung ist. Durch zweckmäßige Stichproben wird man jeweils schnell erkennen, wo dieselbe zu finden ist.

Zur Zeit geben noch manche Seismometerstationen in ihren Berichten die in Millimetern gemessene Amplitude an. Mit einem solchen Werte ist jedoch, wie aus den bisherigen Erörterungen klar hervorgeht, der Seismologie nicht gedient. Wer die Berechnung der Bodenbewegung nicht selbst durchführen will, sollte wenigstens jedesmal die erforderlichen Zahlenwerte über die Eigenperiode, Indikatorvergrößerung, Dämpfung und Reibung mitteilen, um anderen im Gebrauchsfalle die Vornahme der Berechnung zu ermöglichen.

Das Einteilen der Phasen.

Das Auffinden der verschiedenen Phasen im Seismogramm ist eine Kunst, welche durch lange Übung erlernt werden will. Denn häufig ist die wahre Form des Störungsbildes durch superponierte Wellenzüge mehr oder minder unkenntlich gemacht, und die sogenannte „mikroseismische Unruhe"[2]) kann nicht allein den ersten Einsatz, sondern ganze Gruppen

1) 1 Milligal = $^1/_{1000}$ Gal; Gal = Zentimetersekundeneinheit der Beschleunigung. Da g = ca. 980 Gal, so ist 1 Milligal = ca. 1 Milliontel der Schwerkraft.

2) Als „mikroseismische Unruhe" bezeichnet man schnelle, kurzperiodische elastische Schwingungen von geringer Amplitude, welche stunden- oder selbst tagelang andauern und allmählich zu einem Maximum der Amplitude anwachsen, um dann ebensoallmählich wieder abzunehmen. Die kleinen Schwingungen von ca. $^1/_2$—2 Sek. Periode, die sogen. Tagesunruhe (Fig. 163 m), werden durch den menschlichen Verkehr, namentlich industrielle Betriebe, verursacht, infolgedessen sie in der Nacht und an Sonntagen fast gänzlich verschwinden. Die mikroseismische Un-

kleinerer Wellen unterdrücken. Von schwächeren, weit entfernten Erdbeben gelangen meist nur die langen Wellen des Hauptbebens zur Aufzeichnung (Fig. 163 m), weil für kurzperiodische Schwingungen die Absorption der Energie sehr groß ist. Es ist also klar, daß der Besitz verschiedener Typen von Seismographen gute Dienste leisten muß, weil das eine Instrument diese, das andere jene Phase schärfer zum Ausdrucke bringt. Vorteilhaft ist es ferner, eine Komponente eines sehr empfindlichen photographisch-registrierenden Seismometers, etwa des v. Rebeur-Pendels, ohne Dämpfung und mit geringer Geschwindigkeit (6—12 cm pro Stunde) aufzeichnen zu lassen, weil man dann nicht leicht eine seismische Störung auch auf den anderen Seismometern übersehen wird. Da ferner mit wachsendem Epizentralabstande die vertikale Komponente von V_1 der horizontalen gegenüber stark zunimmt, der Emergenzwinkel[1]) also wächst (V_2 zeigt das umgekehrte Verhalten), so werden Vertikalseismometer den ersten Einsatz[2]) von V_1 mit besonderer Schärfe erkennen lassen. Besonders schwierig gestaltet sich natürlich die Analyse, wenn die Wellen zweier Erdbeben zu gleicher Zeit am Seismometer zur Aufzeichnung[3])

---

ruhe von 7—8 Sekunden Periode (Fig. 163 b) steht wahrscheinlich mit dem Vorüberzuge der barometrischen Tiefdruckgebiete, also außertellurischen Vorgängen, in ursächlichem Zusammenhang. Aus diesem Grunde sollen sowohl sie, als auch die „bradyseismischen" Bodenbewegungen (Lotschwankungen) hier keine Berücksichtigung finden, obwohl für letztere auch geologische Vorgänge, nämlich Niveauverschiebungen, in Frage kommen dürften. — Vgl. hierzu A. Sieberg, Erdbeben und Witterung. Eine Studie über tellurische Dynamik. In „Das Wetter", Monatsschr. f. Witterungskunde. Berlin, O. Salle, 1905; sowie: Weiteres über Nullpunktsbewegungen infolge von Luftdruckschwankungen. Ebenda 1905. O. Hecker, Über die Ursachen der mikroseismischen Bewegung, S. 13 ff. von „Seismometrische Beobachtungen in Potsdam in der Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 1905". Neue Folge, Nr. 29 der Veröffentlichung des Königl. Preußischen Geodätischen Instituts, Berlin 1906. Derselbe, Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einfluß von Sonne und Mond, Nr. 32 der gleichen Veröffentlichung, Berlin 1907.

[1]) Der Emergenzwinkel, d. i. der vom Stoßstrahl und der Erdoberfläche eingeschlossene Winkel, läßt sich seismometrisch exakt bestimmen aus dem Vergleich der reellen Amplitude ein und derselben Welle auf einem Horizontal- und einem Vertikalseismometer.

[2]) Die frühere Annahme, auf den Vertikalseismometern setze V_1 (um einige Minuten) früher ein als auf den Horizontalseismometern, hat sich als unzutreffend erwiesen.

[3]) Für solche Fälle sei zum Studium empfohlen das aus 140 Tafeln photolithographisch reproduzierter Originalseismogramme von 78 Seismometerstationen bestehende Standwerk: Seismogramme des nordpazifischen und südamerikanischen Erdbebens am 16. August 1906. Auf Beschluß der Permanenten Kommission der Internationalen Seismologischen Assoziation herausgegeben von dem Zentralbureau und der Kaiserl. Hauptstation für Erdbebenforschung zu Straßburg i. E. Begleitworte und Erläuterungen (98 Seiten) von E. Rudolph und E. Tams. Straßburg 1907.

gelangen. Am besten erlernt sich das Phaseneinteilen durch das Nachprüfen bereits sachgemäß eingeteilter Originalseismogramme[1]), wobei die nachstehend mitgeteilten empirisch abgeleiteten Normen gute Hilfe leisten werden.

Ortsbeben (im Epizentralgebiete).

I. Phase: Infolge des kurzen Weges tritt im Seismogramm eine Differenzierung der einzelnen Wellenarten nicht ein. Jeder einzelne der kurzperiodischen Stöße macht sich als solcher im Seismogramm bemerkbar, worauf die Nachläufer N als Folge des allmählichen Ausklingens der Eigenschwingungen der Scholle einsetzen.

Nahbeben (bis 1000 km).

I. Phase: V_1 kurze stoßartige Wellen, $T \overline{=} 1-6^s$, kleine Amplituden; zuweilen sind bereits langperiodische Wellen übergelagert. Kurz nach Beginn setzen als

II. Phase: gleichzeitig auftretend und einander überlagernd V_2, B und M ein, die langen Wellen ($T =$ etwa 10^s) gleich mit der Maximalbewegung. Ob diese letzteren Wellen anderen von längerer Periode (etwa $20-70^s$) überlagert sind, läßt sich schwer aus dem Seismogramm entscheiden.

Mittelweit entfernte Beben (1000—5000 km).

I. Phase: V_1, mitunter schon von Wellen langer Periode ($30-70^s$) überlagert.

II. Phase: V_2 und B gleichzeitig, indem sich V_2 noch die Wellen langer Periode ($30-70^s$) überlagern. Wellen in B Periode $T =$ ca. 40^s.

III. Phase: Beginnt mit Wellen, deren Periode schnell von etwa 30^s auf 20^s sinkt; zeigt bald nach dem Beginn das Maximum M bei etwa $T = 15$ bis 20^s. Je größer die Herddistanz, desto später auch M, weil immer mehr Wellen von $30-50^s$ auftreten.

Sehr weit entfernte Beben (über 5000 km).

I. Phase: V_1.

II. Phase: V_2.

III. Phase: B mit Wellen von $T = 40-70^s$; genauer gesprochen folgen auf V_2 zunächst Wellen sehr langer Periode, die allmählich auf $T = 30$ bis 25^s sinkt; dann tritt als

IV. Phase: M bei $T = 30^s$ ein.

[1]) Das Zentralbureau der Internationalen Seismologischen Assoziation, Sitz in Straßburg, veröffentlicht in zwangloser Folge photolithographische Reproduktionen von Originalen und Kontaktphotographien der gelegentlich bemerkenswerter Erdbeben an den verschiedenen Stationen gewonnenen Seismogramme. Die Konstanten der Instrumente werden, soweit sie bekannt sind, jedesmal mitgeteilt.

Beben aus der Nähe des Gegenpunktes.

I. Phase: V_1.

II. Phase: V_2.

III. Phase: M bei $T = 40$—70^s; diese Wellen halten recht lange an, erst viel später kommt

IV. Phase: mit Wellen von $T = 30$—20^s mit dem scheinbaren Maximum des Diagramms.

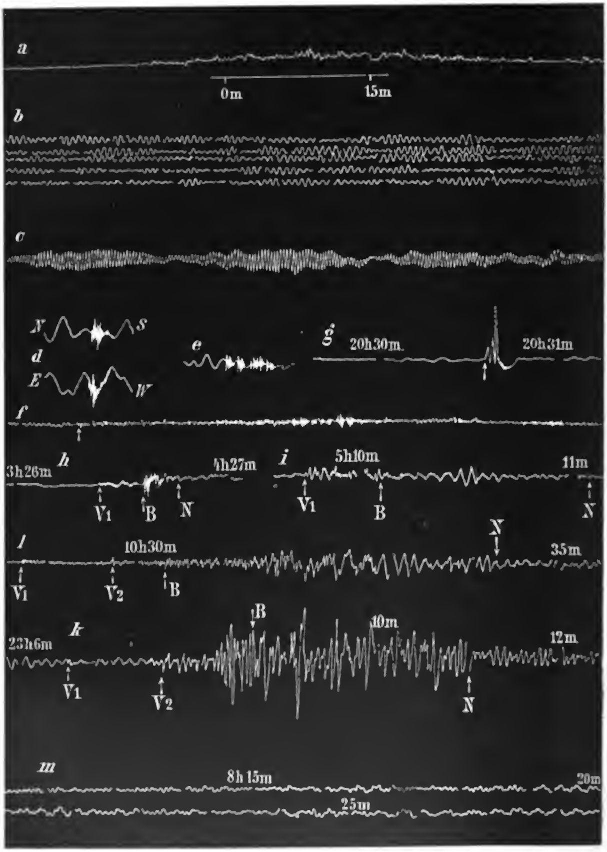
Die W_2-Wellen erscheinen am deutlichsten auf Seismographen mit einer Eigenperiode nahe bei 18 Sekunden (die zudem für die mikroseismische Unruhe, $T =$ ca. 8^s, ungünstig ist), und zwar bei weit entfernten Beben, die bei uns mittelstarke, etwa 1—1½ Stunden währende Störungen liefern. Am leichtesten ist es noch, W_2 unter den mannigfaltigen Anschwellungen des Nachbebens aufzufinden durch Vergleich der Seismogramme zweier Stationen; denn da die Fortpflanzung in entgegengesetzter Richtung (vergl. Fig. 148) als diejenige des Hauptbebens erfolgt, müssen an der vom Epizentrum entfernteren Station die W_2-Wellen, an der näheren Station aber V_1 bis B früher auftreten als an der anderen Station.

Ausmessungen der Seismogramme in Fig. 163 und Fig. 164.

Fig.	Anfang von				Ende	Epizentralentfernung		
	V_1	V_2	B	N		wirklich	berechnet	nach Formel
	h m s	h m s	h m s	h m	h m	km	km	
163 *g*	—	—	20 30 38 *i* $T = 1½^s$	20 30,7	20 30,8			
163 *h*	3 26 24 *i*	—	3 26 36	3 26,8	(3 27,3)	110	111	5
163 *i*	5 09 46 *i* $T = 0{,}7^s$	—	5 10 07 $T = 5^s$	3 11,1	(5 12)	190	161	5
163 *k*	23 06 34 *i*	23 07 36 $T = 3^s$	23 08 36	23 11	(23¼ ca.)	850	911	2
163 *l*	10 28 44 *i* $T =$ ca. 1^s	10 29 45 $T = 2½^s$	10 30 22 $T = 9^s$	10 34,3 $T = 7^s$		1100	911	II
163 *m*			8 12 — $T = 15^s$					
164	13 24 40 $T = 5^s$	13 35 12 $T = 9^s$	13 46 — $T = 20^s$, 42^s, 63^s	14 24 — $T = 18$ — 20^s	(16 ca.)	9700	9500	V

Die angegebene Periode T bezieht sich auf die erste Welle der Phase, nur für Fig. 164 sind noch zwei weitere Wellen von B berücksichtigt. Die eingeklammerten Endzeiten sind den Originalseismogrammen entnommen.

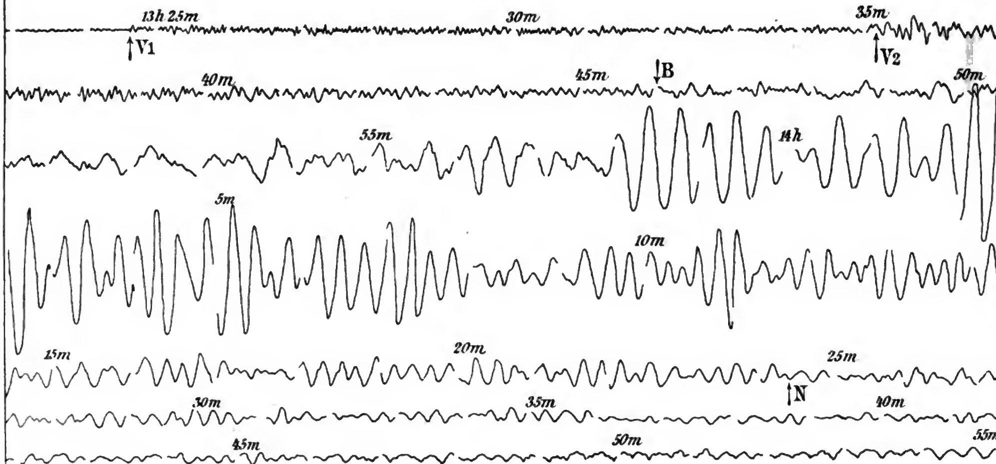
Fig. 163.



Mechanische Seismometeraufzeichnungen.

a Starker Wind, erschüttert den großen Obelisk des Domes zu Mailand, in dem ein 20 m langes Vicentini-Pendel aufgestellt ist. *b*. Mikroseismische Unruhe. *c*. Erschütterung eines Gebäudes durch Dampfmaschinen mit 150 Touren. *d*. Sprengung eines Brückenpfeilers in 360 m Entfernung, 29. Oktober 1906. *e* Hammerschläge im Observatorium. *f*. Vorüberfahren einer Haubitzenbatterie in 160 m Entfernung. *g*. Ortsbeben Straßburg, III Rossi-Forel, 22. Januar 1906. *h*. Nahbeben 110 km, Remiremont (Vogesen), V R-F, 20. September 1906. *i*. Nahbeben 190 km, Lahntal, VI R-F, 1. September 1906. *k*. Entferntes Nahbeben 850 km, Jokeö (Kleine Karpathen) VIII R-F, 9. Januar 1906. *l*. Nahes Fernbeben 1100 km, Südskandinavien, VIII R-F, 23. Oktober 1904. *m* Auftauchen langer Wellen eines weit entfernten Erdbebens in der Tagesunruhe. — *b*, *d* bis *m*, registriert in Straßburg i. E. mittels Wiecherts astatischem 1200 kg-Pendel.

Fig. 164.



Photographische Seismometeraufzeichnung eines zerstörenden Fernbebens.
9700 km, San Francisco, registriert am 18. April 1906 zu Straßburg; gedämpftes v. Rebeur-Ehlert-Pendel mit einer Registriergeschwindigkeit von 90 cm pro Stunde.

Infolge der zur Anwendung gelangten Technik können die hier abgebildeten Seismogramme nicht als konform mit den Originalen angesehen werden. Sie sollen ja auch nur eine Vorstellung von dem Aussehen von Seismogrammen verschiedener Epizentralentfernungen geben. Die vorstehende Tabelle auf S. 317 enthält die wichtigsten Resultate ihrer Analyse, also ohne jede Rücksicht auf die Originale, als Übungsbeispiele; natürlich war der Beschränktheit des Raumes halber nicht an die Bestimmung der Bodenbewegungen zu denken.

Nach den bisherigen Erfahrungen erscheint übrigens der Hinweis, in den Analysen der Seismogramme nur das anzugeben, was man auch wirklich sieht, namentlich aber beim Bekanntsein der Epizentralentfernung nicht etwa daraus einen schlecht erkennbaren Phasenbeginn zu rekonstruieren, keineswegs überflüssig.

Nun zum Schlusse noch einige der gewöhnlichsten Methoden der Seismometrie, welche an die Ergebnisse der Bebenanalyse unmittelbar anknüpfen.

Berechnung der Epizentralentfernung. In der nachstehenden Tabelle bezeichnet y_1 die Dauer der ersten Vorphase, y_2 diejenige der zweiten Vorphase.

All diese Formeln sind auf empirischem Wege gefunden worden, so daß nicht allein der von den Bearbeitern verschieden angenommene Weg des

Angenäherte Formeln zur Berechnung der Epizentralentfernungen.

Autor	Formel	Gültigkeitsbereich
	Nahbeben.	
Nr. 1. Omori.	$7{,}51 \times y_1$ sec + 24,9 km $= x$ km	
Nr. 2. Omori.	$14{,}7 \times y_1$ sec $= x$ km	Für Nah- und Fernbeben.
Nr. 3. Jap. Komm.	$7{,}27 \times y_{1,2}$ sec + 38 km $= x$ km	8,5 sec $\angle\ y_{1,2} \angle$ 132 sec.
Nr. 4. Stiattesi.	$5{,}34 \times y_{1,2}$ sec + 38 km $= x$ km	$y_{1,2} \angle$ 6 min.
Nr. 5. Stiattesi.	$5{,}52 \times y_{1,2}$ sec + 45 km $= x$ km	$y_{1,2} \angle$ 6 min.
	Fernbeben.	
Nr. I. Omori.	$17{,}1 \times y_1$ sec − 1360 km $= x$ km	5 min. $\angle\ y_1 \angle$ 11 min.
Nr. II. Omori.	$14{,}7 \times y_1$ sec $= x$ km	Für Fern- und Nahbeben.
Nr. III. Jap. Komm.	$6{,}54 \times y_{1,2}$ sec + 720 km $= x$ km	3,5 min. $\angle\ y_{1,2} \angle$ 34 min.
Nr. IV. Stiattesi.	$19{,}3 \times y_1$ sec − 2377 km $= x$ km	$y_1 >$ 4 min.
Nr. V. Láska.	$(y_1$ min. − 1$) \times 1000$ $= x$ km	$y_1 >$ 1 min.
Nr. VI. Láska.	$16{,}7 \times y_1$ sec − 1000 km $= x$ km	
Nr. VII. Láska.	$\frac{1}{3}\ y_{1,2}$ min. $\times$ 1000 $= x$ km	$y_{1,2} >$ 3 min.
Nr. VIII. Láska.	$5{,}6 \times y_{1,2}$ sec $= x$ km	

y_1 = Dauer der ersten Vorphase.
$y_{1,2}$ = Dauer der ersten und zweiten Vorphase.

Stoßstrahls, sondern auch die Eigenart in der Wirkungsweise der benutzten Seismometer die Güte in positivem oder negativem, aber für den einzelnen Fall unkontrollierbarem Sinne beeinflußt.

Speziell für die Nahbeben lassen die Formeln vieles zu wünschen übrig, während für die Fernbeben die so einfache Láskasche Formel Nr. V bisher die besten Werte liefert. Formel VII leidet unter dem Mißstande, daß sich der Einsatz von B nur sehr ungenau bestimmen läßt. Aber auch Formel V kann nur als angenähert gelten, weil entsprechend den weiterhin besprochenen Benndorfschen Laufzeiten y_1 keineswegs der Entfernung proportional ist. Durch Vergleich der Benndorfschen Zeitdifferenzen für y_1 mit den nach V abgeleiteten hat E. Rosenthal[1]) nachstehende Korrektionstabelle abgeleitet, deren Benutzung in der Praxis tatsächlich eine bedeutend bessere Übereinstimmung der berechneten mit der wirklichen Epizentralentfernung ergibt:

x nach V:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Megameter
Korrektion:	−0,1	−0,3	−0,5	−0,6	−0,6	−0,6	−0,5	−0,3	0,0	+0,5	+1,5	+2,8	Megameter.

Man kann natürlich auch ohne weiteres die Benndorfschen Laufzeitkurven (Fig. 165) benutzen, und zwar für Fernbeben bis zu 14000 km Epizentralentfernung; alsdann verfährt man wie folgt: Auf ein Stück Papier markiert man durch die Länge einer Strecke im Maßstab der Zeitordinate die Zeitdauer von V_1, verschiebt (die Maßstrecke immer parallel zur Ordinate) dann das Papier so weit nach links, daß die Endpunkte der Strecke mit den Laufzeitkurven von V_1 und V_2 zusammenfallen; die zugehörige Abszisse ergibt dann die Epizentralentfernung in Megametern = 1000 km.

Wenn scharfe Einsätze der Vorläufer fehlen, dagegen die W_2-Wellen vorhanden sind, läßt sich die Epizentralentfernung berechnen nach der Formel:

$$(13)\qquad \frac{40000 \text{ km} - (t_1 - t_2) \text{ Sek.} \times 3{,}4 \text{ km/Sek.}}{2} = x \text{ km};$$

darin bedeutet $(t_1 - t_2)$ die Zeitdifferenz zwischen dem Eintreffen der W_1- und W_2-Wellen.

Bestimmung des Epizentrums. Mathematisch berechnen lassen sich die geographische Länge und Breite des Epizentrums nach einem von W. Láska[2]) angegebenen Verfahren, wenn man über instru-

[1]) E. Rosenthal, Katalog der im Jahre 1904 registrierten seismischen Störungen. Serie B, Nr. 2 der Veröffentlichungen des Zentralbureaus der Internationalen Seismologischen Association, Straßburg 1907. — Dieser mikroseismische Katalog gibt auch wertvolle Winke für die Anlage und Durchführung ähnlicher Arbeiten.

[2]) W. Láska, Über die Berechnung der Fernbeben, Nr. 14 der Neuen Folge der Mitteilungen der Erdbebenkommission der Kaiserl. Akademie d. Wissenschaften in Wien. Wien 1903. — Vollinhaltlich, einschließlich der Hilfstafeln für die Berechnung, abgedruckt in Erdbebenkunde S. 300 ff. bezw. 295 ff. und 343 ff.

mentelle Beobachtungen an wenigstens drei, tunlichst weit und in gleichseitigem Dreieck voneinander entfernten Orten verfügt.

An die Stelle der Berechnung kann mit gleichem Erfolge ein graphisches Verfahren treten. Man bestimmt die Epizentralentfernung für jede der Beobachtungsstationen nach einer der besprochenen Formeln, und beschreibt mit jeder dieser Epizentralentfernungen als Radius (nicht Zirkel, sondern biegsames Meßband!) auf einem Globus um die zugehörige Station einen Kreisbogen. Diese drei oder mehr Kreisbögen werden ein kleines Dreieck einschließen, nahe dessen Schwerpunkt das Epizentrum liegt.

Selbst wenn man über die Registrierung nur einer Station verfügt, kann man in günstigen Fällen mit ziemlicher Sicherheit das Epizentrum bestimmen, falls nur die Einsätze von V_1 und V_2 scharf markiert sind. Die Richtung des ersten Ausschlages von V_1 auf beiden Komponenten der Registrierung läßt, unter Berücksichtigung des Parallelogramms der Kräfte, einen Schluß auf die ungefähre Richtung zu, aus der das Beben herkam. Indem man nach dieser Richtung hin auf einem Globus die aus dem Seismogramm berechnete Epizentralentfernung abträgt, gelangt man mit grober Annäherung in die weitere Umgebung des Epizentralgebietes. Die genauere Lokalisierung hängt dann im allgemeinen von dem Vertrautsein des Bearbeiters mit der Erdbebentätigkeit der verschiedenen Länder zusammen.

Zur Erleichterung derartiger Arbeiten habe ich einen besonderen seismischen Meßglobus entworfen, der im Verlage von Dietrich Reimer (Ernst Vohsen) in Berlin erscheint. In das physikalische Kartenbild sind die Erd- und Seebebengebiete, die Vulkane, die geomorphologischen Einheiten, sowie die wichtigsten Seismometerstationen eingetragen. Ein besonders konstruiertes Meßband vereinfacht die graphische Epizentralbestimmung aus den Registrierungen an drei Stationen. Weiterhin läßt sich für jedes Land direkt aus dem Kartenbilde die Art der Zeitzählung (Zonenzeit, Ortszeit) entnehmen, und durch eine geeignete Ablesevorrichtung schnell und sicher in Greenwichzeit umwandeln.

Zur Berechnung der Azimute beim Epizentrum (E) und bei der Beobachtungsstation (S), sowie der sphärischen Bögen (σ) dienen die Formeln:

$$(14)\quad \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(E - S) = \frac{\cos \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')}{\sin \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')} \operatorname{cotg} \tfrac{1}{2}(\lambda - \lambda')$$

$$(15)\quad \operatorname{tang} \tfrac{1}{2}(E + S) = \frac{\sin \frac{1}{2}(\varphi - \varphi')}{\cos \frac{1}{2}(\varphi + \varphi')} \operatorname{cotg} \tfrac{1}{2}(\lambda - \lambda')$$

$$(16)\quad \sin \sigma = \frac{\cos \varphi'}{\sin E} \sin(\lambda - \lambda') = - \frac{\cos \varphi}{\sin S} \sin(\lambda - \lambda')$$

Hier sind φ und λ resp. φ' und λ' die geographische Breite und Länge des Epizentrums resp. der Beobachtungsstation. Die Formel (16) ermöglicht eine teilweise Kontrolle der Rechnung, für Bögen in der Nähe von 90° wird sie jedoch ungenau. Deshalb und zwecks schärferer Kontrolle kann man die sphärischen Entfernungen außerdem nach folgender Formel berechnen:

$$(17)\quad \sin^2 {}^1\!/_2\, \sigma = \sin^2 {}^1\!/_2\, (\varphi - \varphi') + \cos\varphi \cos\varphi' \sin^2 {}^1\!/_2\, (\lambda - \lambda').$$

Es erübrigt dann noch die Umwandlung in Längenmaß, indem man 1 Längengrad = 111,18 km annimmt, entsprechend der dem Besselschen Erdellipsoid inhaltsgleichen Kugel. Rechnet man auf 1 km und rundet dann auf 10 km ab, dann sind die Resultate auf $\pm$ 5 km sicher; soweit reichen auch unsere Kenntnisse der irdischen Entfernungen, die Erde als Ganzes betrachtet.

Die Werte für die Länge der Sehne und die Höhe des Bogens über der Sehne ergeben sich mit Hilfe des durch (17) direkt bestimmten Winkels ${}^1\!/_2\, \sigma$ nach den Formeln:

$$(18)\quad \text{Sehnenlänge} = 2\, r \sin {}^1\!/_2\, \sigma, \text{ und}$$
$$(19)\quad \text{Bogenhöhe} = r\,(1 - \cos {}^1\!/_2\, \sigma),$$

worin r = Erdradius = 6370,28 km ist.

Für die Azimute gibt man, entsprechend der nautischen Zählweise, die spitzen Winkel an und setzt den Sinn der Zählweise (von N nach S oder von E nach W) daneben.

Die Laufzeit der Vorläufer ist die Zeit, welche der Impuls gebraucht, um von dem punktförmig angenommenen Bebenherd[1]) einen bestimmten Punkt der Erdoberfläche zu erreichen. H. Benndorf[2]) hat an der Hand der Analysen von 252 Einzelbeben, deren Stoßzeit am Epizentrum und deren Epizentralentfernungen hinlänglich genau bekannt sind, gefunden, daß die Laufzeiten nachstehenden Bedingungen entsprechen:

$$(20)\quad \text{Laufzeit } V_1 = 0{,}4 + 1{,}7\,\Delta - 0{,}042\,\Delta^2 \text{ Minuten,}$$

$$(21)\quad \text{Laufzeit } V_2 = 1{,}3 + 3{,}0\,\Delta - 0{,}075\,\Delta^2 \text{ Minuten,}$$

wenn für die Epizentralentfernung Δ Megameter (1 Megameter = 1000 km) als Einheit zu Grunde liegen. In Fig. 165 sind die Laufzeitkurven für V_1 und V_2 graphisch dargestellt.

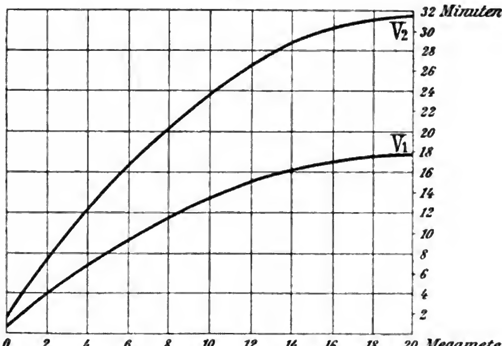
---

1) Sobald man mit Epizentralentfernungen von mehr als 1000 km rechnet, darf man sowohl die Herdflächen als nahezu punktförmig ansehen, als auch die Herdtiefe vernachlässigen.

2) H. Benndorf, Über die Art der Fortpflanzung der Erdbebenwellen im Erdinnern, I. Mitteilung. Neue Folge Nr. 29 der Mitteilungen der Erdbebenkommission der Kaiserl. Akademie d. Wissenschaften in Wien. Wien 1905.

Die Stoßzeit am Epizentrum ergibt sich ohne weiteres aus den Laufzeitkurven (Fig. 165), wenn man den ersten Einsatz von V_1 oder von V_2, sowie die zugehörige Epizentralentfernung kennt. Man braucht dann nur von der Eintrittszeit soviel Minuten zu subtrahieren, wie sich als Ordinate zu dem Schnittpunkt der Laufzeitkurve mit dem in der betreffenden Epizentralentfernung errichteten Lot ergeben.

Fig. 165.



Laufzeitkurven der Vorläufer. Nach H. Benndorf.

Etwas zu frühe Werte für die Stoßzeit liefert die von F. Omori[1]) aufgestellte Formel, weil sie eine geradlinige Laufzeitkurve zu Grunde legt; da sie aber häufig zur Anwendung gelangt, so sei auch sie hier mitgeteilt:

$$\text{(22)} \qquad \text{Stoßzeit } t_0 = t_1 - 1{,}165\, y_1;$$

darin bezeichnet t_1 die Eintrittszeit und y_1 die Dauer von V_1 an der Seismometerstation.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit der seismischen Wellen. Als Fortpflanzungsgeschwindigkeit bezeichnet man bekanntlich die in 1 Sekunde zurückgelegte Anzahl von Kilometern, d. h. man dividiert die Entfernung zwischen zwei Stationen, von denen die eine allerdings oftmals nahe dem Epizentrum liegt, durch die Zeitdifferenz des Eintreffens der Erdbebenwellen. Ein solches Verfahren ist aber nur unter

[1]) F. Omori, On the Estimation of the Time of Occurrence at the Origin of a Distant Earthquake from the Duration of the 1st Preliminary Tremor observed at any Place. Bulletin of the Imperial Earthquake Investigation Committee Vol. I, Nr. 1. Tokyo 1907.

der Voraussetzung berechtigt, einmal daß es sich um Oberflächenwellen handelt, anderseits daß die Fortpflanzung eine konstante ist. Beide Voraussetzungen treffen aber, wie wir sahen, für die Vorläufer nicht zu. Wollen wir für die Vorläufer trotzdem eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit angeben, so müssen wir sie als „scheinbare Oberflächengeschwindigkeit" bezeichnen im Gegensatz zu der „wahren Fortpflanzungsgeschwindigkeit", welche längs des Stoßstrahls zu messen wäre. Unter Zugrundelegung der Laufzeitkurven Benndorfs erfüllt die „scheinbare Oberflächengeschwindigkeit" der Vorläufer die Bedingungen:

(23) Oberflächengeschwindigkeit $V_1 = \frac{1}{1,7 - 0,084\,\Delta} \cdot \frac{1000}{60}$ km pro Sek., und

(24) Oberflächengeschwindigkeit $V_2 = \frac{1}{3,0 - 0,15\,\Delta} \cdot \frac{1000}{60}$ km pro Sek.,

worin Δ = Epizentralentfernung in Megametern ist; es wird also der veränderlichen Laufzeit Rechnung getragen.

Wenn man aber glaubt, letztere Größe vernachlässigen zu dürfen, so wird man für die Ableitung die beiden Omorischen Methoden einschlagen:

Die „direkte Methode" kommt bei einer Seismometerstation in Betracht. Bezeichnet Δ_1 die Epizentralentfernung, während t_0 und t_1 die früher genannte Bedeutung beibehalten, dann ergibt sich:

(25) Fortpflanzungsgeschwindigkeit $V_1 = \frac{\Delta_1}{t_1 - t_0}$ km pro Sek.

Die „Differentialmethode" wird dann zur Anwendung gebracht, wenn man zwei Stationen zur Verfügung hat, die aber möglichst auf demselben größten Kreise mit dem Epizentrum und auf dessen gleicher Seite liegen müssen; für sie bedarf man außerdem nicht der Kenntnis von t_0. Behält Δ_1 und t_1 dieselbe Bedeutung wie vorher, während Δ_2 und t_2 die entsprechenden Werte für die zweite Station darstellen, dann ergibt sich:

(26) Fortpflanzungsgeschwindigkeit $V_1 = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{t_1 - t_2} = \frac{\text{Differenz}\,\Delta}{\text{Differenz}\,t}$ km pro Sek.

Diese Methode gibt, bis zu einer Entfernung von 40°, etwas höhere Werte als die „direkte Methode", jedoch nimmt der Unterschied mit wachsender Epizentralentfernung ab.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Oberflächenwellen berechnet sich nach den Gleichungen:

(27) Fortpflanzungsgeschwindigkeit $B = W_1 = \frac{\Delta}{t_b - t_o}$ km pro Sek.

(28) Fortpflanzungsgeschwindigkeit $W_2 = \frac{40000 - 2\Delta}{t_b - t_{w_2}}$ km pro Sek.

(29) Fortpflanzungsgeschwindigkeit $W_3 = \frac{40000}{t_b - t_{w_3}}$ km pro Sek.

Darin bedeuten t_b, t_{w_2} und t_{w_3} entsprechend die Eintrittszeiten der $B = W_1$-Wellen, der W_2-Wellen und der W_3-Wellen.

Eine Grundbedingung für die Berechnung der „wahren" Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Vorläufer sucht R. v. Kövesligethy[1]) durch eine Rechnungsmethode zu erfüllen, welche die Gestalt und Größe der Stoßstrahlen ermitteln soll; sie ähnelt in gewisser Hinsicht den Bahnbestimmungen der Planeten, gestaltet sich aber noch viel komplizierter und mühsamer. Auch Benndorf[2]) strebt danach, diesem Ziele näher zu kommen, jedoch auf anderem Wege, wobei er Einwände gegen die Grundlagen der v. Kövesligethyschen Theorie erhebt. Da also einerseits diese ganzen Methoden noch nicht hinreichend sichergestellt sind, anderseits deren Verständnis und Anwendung vollständiges Vertrautsein mit der höheren Mathematik zur Voraussetzung hat, so dürfen wir uns in methodologischer Hinsicht mit diesem Hinweise begnügen.

Trotzdem möchte ich mir nicht versagen, einige den Geologen ganz besonders interessierende Schlußfolgerungen aus den Benndorfschen Untersuchungen hier mitzuteilen, wenn auch die Zahlengrößen sich im Laufe der Zeit noch etwas verschieben sollten. Die wahre Fortpflanzungsgeschwindigkeit von V_1 ist im Erdmittelpunkte mit 15,7 km pro Sekunde ein Maximum und nimmt kontinuierlich gegen die Oberfläche zu ab. Bei etwa $^4/_5$ des Erdradius tritt ein Stillstand in der Abnahme ein, der anhält, bis etwa bei $^{19}/_{20}$ des Erdradius ein rapides Absinken auf den Oberflächenwert von 5,5 km pro Sekunde beginnt. Diese Erscheinung steht aber in

1) Eine vollständige Entwicklung der Theorie sowohl, als auch der Rechenmethode hat R. v. Kövesligethy gegeben (in lateinischer Sprache) in der Abhandlung: Seismonomia. In honorem I. Consessus Associationem internationalem seismologicam procurantium Romam convocavit. Bd. XI, S. 113—250 des Bollettino della Società Sismologica Italiana; Modena 1906. — Vgl. auch die in deutscher Sprache erschienene elementar-mathematische Ableitung der Theorie durch A. Pécsi, Grundzüge der geometrischen Theorie der Erdbeben. Abrégé der Földrajzi Közlemények Bd. XXXIV, Heft 2. Budapest 1906.

2) In der II. Mitteilung über die vorher zitierte Untersuchung. Wien 1906.

guter Übereinstimmung einerseits mit der Wiechertschen Theorie, derzufolge die Erde einen Eisenkern enthält, der in einem Gesteinsmantel von 1500 km Dicke eingebettet ist, anderseits mit der von J. Milne und W. Láska angenommenen Existenz einer äußeren Erdkruste von $^1/_{20}$ Erdradiusdicke.

Das Seismometer leistet also für die Erkenntnis der physischen Beschaffenheit des Erdinnern die gleichen Dienste wie das Spektrometer für die der Gestirne.

Kapitel 36.

Beobachtungen in Dünengebieten.

Sokolów, N. A.: Die Dünen. Deutsche Ausgabe bei Jul. Springer, Berlin 1894. Gerhardt, P., Handbuch des deutschen Dünenbaues. Berlin, P. Parey 1900. Darin: Geologie der Dünen von Dr. Alfred Jeutrsch S. 1—124.

Wer Studien in Dünengebieten anstellt, hat auf folgende Punkte zu achten:

1. Material der Dünen,
2. Struktur der Dünen,
3. Gestalt der Dünen,
4. Werden und Vergehen der Dünen.

1. Die Größe der Sandkörner wird bestimmt durch die mechanische Analyse; über die Ausführung finden sich eingehende Mitteilungen in dem betreffenden Abschnitte der Methoden der Bodenuntersuchung. Es wird genügen, die Körner in vier Größen zu zerlegen, nämlich $< 0,5$ mm, von 0,5—0,2 mm, von 0,2—0,1 mm und $> 0,1$ mm. Nur bei vereinzelt vorkommenden, besonders groben Flugsanden wird man noch die Korngrößen von 2—1 und 1—0,5 mm zu unterscheiden haben. Beobachtungen sind anzustellen nicht nur über die absolute Größe der einzelnen Körner, sondern auch über den Grad der Gleichförmigkeit des Sandes. Ferner sind die Unterschiede in der Korngröße zwischen Stranddünen und Binnenlanddünen zu beachten.

Die mineralogische Zugehörigkeit der einzelnen Sandkörner wird sich rücksichtlich der am meisten am Dünenaufbau beteiligten Mineralien sehr leicht durch einfache megaskopische oder Lupenuntersuchung des Sandes ermitteln lassen. In den weitaus meisten Dünengebieten ist Quarz das vorherrschende Material, sehr selten (an Korallenküsten) sind Dünen aus reinen Kalksanden aufgebaut. Neben Quarz, Kalk und Feldspat aber finden sich in fast allen Dünensanden noch größere oder geringere Mengen seltenerer Mineralien, die meist ein höheres spezifisches

Gewicht besitzen. An manchen Stellen der Meeres- und Binnenseeküsten werden diese Mineralien durch die Wellentätigkeit aufbereitet und angereichert und man hat dann in diesen dunklen „Streusanden" ein ausgezeichnetes Material zur eingehenden mineralogisch-petrographischen Untersuchung. Fehlt es, so muß man aus einer größeren Menge von Dünensand die selteneren Mineralien durch Einführung in schwere Lösungen nach den im II. Teile dieses Werkes angegebenen Methoden isolieren.

Retgers und Schröder van der Kolk haben dies zuerst bei niederländischen Dünen ausgeführt und deren Sande in folgende Gruppen zerlegt:

Name und spezifisches Gewicht	Prozentanteil an der Zusammensetzung des Sandes	Prozentische Zusammensetzung in der Gruppe
Orthoklas-Gruppe 2.50—2.60	3.23	Orthoklas 21 Quarz 79
Quarz-Gruppe 2.60—2.70	83.64	Fast reiner Quarz
Kalzit-Gruppe 2.70—3.00	7.74	Kalkkarbonat 91.1 Magnesiumkarbonat 1.6 Eisenkarbonat 7.3
Amphibol-Gruppe 3.00—3.30	1.46	Meist Hornblende mit 1% Apatit
Pyroxen-Gruppe 3.30—3.60	1.10	Meist Augit
Granat-Gruppe 3.60—4.20	2.70	Meist Granat
Eisenerz-Gruppe 4.20—5.20	0.13	22% Zirkon, das übrige zumeist Titaneisen und Magneteisen

Außer den genannten Mineralien wurden in geringeren Mengen noch gefunden: Kordierit, Aktinolith, Smaragdit, Glaukophan, Turmalin, Hypersthen, Epidot, Titanit, Sillimanit, Olivin, Staurolith, Cyanit, Korund, Spinell, Rutil. Die schwersten Mineralien bilden die kleinsten Körner.

2. Struktur der Dünen u. a.

Gegenstände der Untersuchung sind:

a) die Schichtung: man beachte, ob sie auf einem Wechsel in der Korngröße oder auf einem solchen in der mineralogischen Zusammensetzung (z. B.

dünnen Einlagerungen von Granatmagneteisensand) beruht. Ganz besonderes Interesse aber bietet der Verlauf der Schichtflächen in Dünen. Man beobachtet nämlich sehr oft steil (unter 30°) gegen die Horizontalebene einfallende Schichtung, die auf der Luvseite von Wanderdünen erzeugt wird, dann aber auch auffallende Diskordanzen, indem auf ein solches System geneigter Sandschichten sich flach gelagerte Sandmassen diskordant auflagern. Das weist immer darauf hin, daß hier eine steil geschichtete Wanderdüne wieder zum Teil abgeblasen wurde und daß auf ihrer Denudationsfläche neue Sandmassen abgesetzt wurden. In kleineren, auf minder regelmäßige Weise entstandenen Dünen beobachtet man häufig eine ins kleine gehende diskordante Parallelstruktur, die auf einem häufigen Wechsel in Stärke und Richtung des Material herbeischaffenden Windes zu beruhen scheint.

b) Alte Vegetationsdecken. Die Dünen haben bei ihrem Vorrücken nicht nur Wälder, Wiesen, Heiden u. a. verschüttet, sondern sie bewahren diese verschiedenen ehemaligen Vegetationszustände auch unter ihrer Masse auf und lassen sie bei weiterem Vorrücken an ihrer Leeseite wieder zum Vorschein kommen. Mit ihr zugleich finden sich häufig menschliche Artefakte, teils aus prähistorischer, teils aus historischer Zeit, die unter Umständen über Alter und Wanderungszeit der Düne Aufschluß geben können. Aber auch in ruhenden Dünen sieht man oft dunkle Streifen, bisweilen in mehreren durchaus nicht immer parallelen Lagen, die aus Humus bestehen, und verschiedene Stadien in der Entstehungsgeschichte der Düne verraten.

c) Blitzröhren (Fulguriten) entstehen durch Einschmelzung resp. Frittung (unter Mitwirkung des Kalk- und Alkaligehaltes als Schmelzmittel) des Dünensandes durch den Blitz.

d) Osteokollen. Röhrenförmige Kalkabscheidungen, als Ausfüllung vermoderter Baumwurzeln entstanden und gewissermaßen Pseudomorphosen nach solchen.

e) Dynamische Wirkungen der Dünen können sich teils in Aufpressungen vor der Stirn, teils in Niederpressungen und Zusammendrückungen von plastischen oder voluminösen Schichten im Untergrunde von Dünen äußern. Erstere beziehen sich bald auf Ton, bald auf Torf. Die Analogie solcher Erscheinungen mit den Wirkungen eines vorrückenden Inlandeises erhöht ihr Interesse. Auf die Bedeutung der Zusammenpressung von Torfmooren durch Dünen und auf die bei der Deutung der Erscheinung zu beobachtende Vorsicht ist bereits S. 49 hingewiesen worden.

f) Wasserführung der Dünen. In dem gleichmäßigen und durchlässigen Materiale der Dünen vollziehen sich die Gesetze der Wasserzirkulation mit großer Regelmäßigkeit und lassen sich hier leicht überblicken.

Es ist zu achten auf die Höhenlage des Grundwasserspiegels, auf sein Auf- und Absteigen mit den Oberflächenformen der Düne und bei den Dünen in der Nähe des Strandes auf den Verlauf der Grenze zwischen süßem und salzigem Wasser in der Strandzone.

3. Die Gestalt der Dünen. Es ist selbstverständlich Voraussetzung, daß jeder, der sich mit den geologischen Verhältnissen eines Flugsandgebietes näher beschäftigen will, vollkommen mit der entsprechenden Terminologie vertraut sein muß. Man findet sie in den beiden am Anfang dieses Kapitels angegebenen Werken in übersichtlicher Weise dargestellt und durch Abbildungen erläutert. Die Fragen, die sich beim Studium der Dünenformen ganz von selbst aufdrängen, beziehen sich nicht nur auf die Masse des Flugsandkörpers selbst, sondern auch auf seine Nachbarschaft, die oft in innigsten genetischen Beziehungen zu ihm steht. So kann man an allen Dünenküsten sehen, wie durch die vorrückenden Dünen Teile des Meeres abgeschnürt und in Lagunen umgewandelt werden, die allmählich aussüßen. Marine Fossilien in den älteren Ablagerungen solcher Lagunen bestätigen eine derartige Entstehung. Bezüglich der Dünen selbst ist die Aufmerksamkeit zunächst auf die Gliederung im Großen zu richten: man wird in den meisten Fällen bei noch heute in der Weiterbildung begriffenen Dünengebieten verschiedene Stadien erkennen können, die als Vordüne, untere Stufendüne, obere Stufendüne, Wanderdüne u. s. w. unterschieden werden und scharf auseinander zu halten sind. Sodann sind die Neigungsverhältnisse der Oberfläche dieser verschiedenen Dünen zu untersuchen, das Maximum der Neigungen ist festzustellen und mit dem natürlichen maximalen Böschungswinkel des Sandes der betreffenden Korngröße zu vergleichen und für etwaige steilere Dünenböschungen die Erklärung (z. B. Durchfeuchtung) zu suchen. Die Unterschiede von Lee- und Luvseite sind nach Gestalt und Böschungswinkel genau zu studieren und der Einfluß der verschiedenen Windrichtungen auf beides ist zu prüfen; man wird manches Mal über die erstaunlich rasche Verwandlungsfähigkeit des äußeren Aussehens einer Düne in Staunen geraten.

4. Werden und Vergehen der Dünen bieten eine Reihe von Problemen von hohem Reize. Die Art und Weise, wie das Rohmaterial, das Sandkorn, zu stande gekommen ist, bildet den Ausgangspunkt solcher Studien. Handelt es sich um die Auswaschung oder Ausblasung älterer sandhaltiger Bildungen, oder um den Zerfall von Sandsteinen, oder um Verwitterungsgebilde quarzhaltiger kristalliner Gesteine, deren übrige Bestandteile chemisch oder mechanisch zerstört wurden? Welches ist der erste Beginn einer Dünenbildung? Wie verhalten sich an den Küsten die Dünen in ihren verschiedenen Stadien zur herrschenden Windrichtung, zum Verlaufe der Küstenlinie und zu den Küstenströmungen? Warum sind manche

Küstenstrecken frei von Dünen, andere daran reich? Wie entstehen die sogenannten Windbahnen? Von besonderem Interesse ist die Anwendung der Wirbeltheorie auf eine Anzahl von Erscheinungen der Dünengebiete, so auf die Rippelmarks, die Entstehung der Windbahnen, die kraterartigen Ausblasungen an hohen Wanderdünen.

Bezüglich der letzteren, der großartigsten Erscheinung der Dünenwelt, bieten sich der Beobachtung neue Gebiete dar. Bei ihnen gilt es, die Bewegungsgeschwindigkeit zu ermitteln und in Beziehung zu setzen zu Menge und Stärke der im Quadranten der Bewegungsrichtung wehenden Winde, zur Verteilung der Niederschläge und zum Querschnitte des wandernden Dünenkörpers selbst.

Da die Masse der Düne kahl und vegetationslos ist, so bietet ihre außerdem in ununterbrochener Veränderung befindliche Oberfläche keinerlei Merkzeichen, an welchen man sich über die Geschwindigkeit ihres Vorrückens orientieren könnte. Man muß sich also zu diesem Zwecke an feste Gegenstände halten, die sich außerhalb der Düne befinden, und ihre Lage zu bestimmten Punkten der Düne fixieren. Die weitaus meisten Wanderdünen haben eine außerordentlich gleichförmige Bewegungsrichtung und fallen in ihr mit einem Steilrande ab, der entweder eine gerade Linie bildet oder, was weit häufiger ist, bogenförmig gekrümmt ist. Man tut nun am besten, vor der „Stirn“ der Wanderdüne eine Reihe von Pfählen einzuschlagen, sie zu numerieren und den Abstand eines jeden Pfahles von dem ihm zunächst befindlichen Punkte des vorderen Randes der Wanderdüne durch Messung mit Band oder Kette oder durch sorgfältiges mehrmaliges Abschreiten zu ermitteln. Ist das Vorland der Düne nicht kahl, sondern mit Wald bestanden, so kann man an Stelle der Pfähle mit besserem Erfolge bestimmte Bäume, die ja doch dem Verderben geweiht sind, durch Axthiebe mit einem Zeichen versehen oder auch an bloßgeschälten Stellen mit großen eingeschnittenen Nummern markieren und ihre Beziehungen zur Lage des Steilrandes ebenfalls durch Messungen feststellen. Nur muß man sicher sein, daß die gezeichneten Bäume nicht in der Zwischenzeit zwischen zwei Beobachtungen gefällt werden. Da, wie es scheint, die Geschwindigkeit der Wanderdünen umgekehrt proportional ist der Größe der Fläche eines der Bewegungsrichtung parallelen Längsschnittes durch die Düne, so muß man naturgemäß bei niedrigen Wanderdünen die Merkpunkte in etwas größeren Entfernungen vom Rande der Düne wählen, als bei sehr hohen. Ein Abstand von 30 m dürfte bei jährlich einmaliger Beobachtung auch für die am schnellsten wandernden Dünen genügen, ein solcher von 10 m für Dünen, deren Höhe mehr als 20 m beträgt. Da die verschiedenen in der Bewegungsrichtung gedachten Längsschnitte durch die Düne Profile von ganz verschiedenem Flächeninhalte ergeben, so wandert eine jede Düne in ihren einzelnen Teilen verschieden schnell, und es ist deshalb außer der

Bewegung der Gesamtmasse auch noch die Veränderung in der Form des Stirnrandes der Beobachtung zu unterwerfen. Auch diese Veränderungen ergeben sich sehr einfach durch Vergleich der Lagebeziehungen der Pfähle oder markierten Bäume in zwei aufeinander folgenden Beobachtungsjahren. Ragen durch die Wanderdünen die Spitzen verschütteter Bäume hindurch, so liefern sie einen Fixpunkt innerhalb der Düne, den man sehr gut zu kontrollierenden Messungen benutzen kann.

Kapitel 37.

Beobachtungen beim Fall von Meteoriten.

Döll, E.: Über die Beobachtung des Falles von Meteoriten und das Aufsammeln derselben. Beilage zu dem Programm der öffentlichen Unter-Realschule im I. Bezirke. Wien 1903.

I. Fallerscheinungen.

Der Fall eines Meteors bietet eine lange Reihe von sich darbietenden Eindrücken und kaum einer der glücklichen Augenzeugen eines so merkwürdigen Naturereignisses wird in der Lage sein, über alle Phasen desselben zu berichten. Das soll jedoch niemand abhalten, über eine einzelne Beobachtung zu berichten, denn sie kann im Zusammenhange mit anderwärts gemachten Beobachtungen zu wichtigen Resultaten führen.

a. Erscheinungen in der kosmischen Bahn und bei dem Stillstande.

1. Die Feuerkugel.

Feuererscheinungen kommen meistens zur Beobachtung. Ist das nicht der Fall, so mögen Wolkenbedeckung oder der Glanz der Sonne die Wahrnehmung verhindert haben.

Bei dem ersten Anblick gibt sich das Meteor als ein leuchtender Punkt, als eine Sternschnuppe, um sich dann rasch zu einer Kugel zu vergrößern. Eigentlich ist es nur beiläufig eine Kugel, sondern meist nach rückwärts ausgezogen, seltener nach vorwärts. Bei teleskopischer Beobachtung löst sich zuweilen die einheitliche Kugel in mehrere, in parallelen Bahnen dahinziehende Körper auf.

Feuerkugeln, an denen eine Rotation bemerkbar, sind selten.

2. Größe.

Bezeichnungen, groß wie ein Apfel, wie ein Kindskopf, ein Teller, ein Wagenrad und wie alle diese Vergleiche heißen, bedeuten nicht viel, ja

gar nichts. Am besten sind Vergleichungen mit der scheinbaren Größe der Sonne oder des Mondes.

3. Helligkeit und Farbe.

Wie die Größe ändert sich auch meist die Helligkeit und Farbe während des Zuges. So erblickte Schmidt das Meteor von Athen anfangs nur als Lichtfunken, in der zweiten Sekunde erschien es als Stern zweiter Größe, um in der dritten und vierten Sekunde in der Größe des Sirius in grünem Lichte zu erstrahlen, wobei nicht nur die Gestirne verschwanden, sondern auch die Stadt Athen, Land und Meer in grünem Feuer aufzulodern schienen.

Anschließend an die Intensität des Leuchtens sei hervorgehoben, daß gerade sie es ist, welche oft die Beobachter eines Meteors besonders zur Nachtzeit verleitet, den Ort des Niederfallens in nächster Nähe zu vermuten, während er doch oft hunderte Kilometer entfernt ist.

4. Lage der Bahn.

Um eine brauchbare Beobachtung zu erhalten, sind in erster Linie die Zeit und der Stand des Beobachters festzuhalten. Wird die Beobachtung während der Nacht gemacht, so ist es das Sicherste, sich auf die Gestirne zu beziehen, wobei anzugeben ist, bei welchem Sterne das Meteor zuerst gesehen wurde, bei welchem es erloschen, ob es über oder unter dem Stern vorbeigegangen und in welchem Abstande das der Fall war.

Anders ist es, wenn die Beobachtung am Tage gemacht wird. Dann hat man als Richtungsmarken Berge, Kirchtürme, hohe Bäume, Schornsteine, Häuser zu benutzen. Um die Höhe festzustellen, beurteilt man, wie oft die Höhe des Berges, Baumes, Turmes, über welchen das Meteor gesehen, zu nehmen ist, um dessen scheinbare Höhe zu erreichen. Nach gemachter Beobachtung ist diese dem Gedächtnisse gut einzuprägen. Auch soll man sobald als möglich an die Feststellung der Beobachtung gehen.

Man bezeichnet auf einer Karte den Standpunkt und zieht davon die Linien zu jenen Objekten, über welchen das Meteor beobachtet wurde. Sind diese Objekte nicht auf der Karte eingetragen, so werden sie auf einem Situationsplan des Ortes oder der Umgebung zu finden sein. Auf diese Art sind die Richtungen festgestellt.

Die Höhen können auch mit einem gewöhnlichen Gradbogen (Transporteur) aus Kartonpapier gemessen werden, in dessen Mittelpunkt ein Lot hängt. Visiert man die Höhen längs der Kante an, so gibt der Winkel zwischen dem Lote und der Mittellinie die Erhebung über den Horizont.

Um die Richtung und Höhe zu bestimmen, kann auch die Sonne oder der Mond in der Weise benutzt werden, daß angegeben wird, „das Meteor war zu sehen, wo am Tage danach um diese oder jene Zeit die Sonne (Mond) stand“.

5. Geschwindigkeit.

Um die Geschwindigkeit zu schätzen, muß die Zeitdauer bestimmt werden, was durch Zählen der Schläge einer Taschenuhr oder der Pulsschläge geschehen kann. Aus Nießls Berechnungen ergibt sich, daß große Feuerkugeln und Meteoriten eine Geschwindigkeit besitzen, welche fast das Doppelte der Erdgeschwindigkeit beträgt. Diese große Geschwindigkeit weist auf hyperbolische Bahnen hin. Aus ihr erklärt sich auch, daß der Durchgang durch die Atmosphäre bis zur Hemmung immer nur wenige Sekunden beträgt.

6. Der Schweif.

Öfter zieht das Meteor einen Schweif nach, welcher sich nach rückwärts verschmälert, seltener ist dessen Verbreiterung. In diesem Falle erscheint das Meteor als brennender Besen, den Stiel nach vorne. Außer der Form des Schweifes wird auch die Farbe und dann, ob diese wechselte, ferner die Helligkeit anzugeben sein.

7. Rauchstreifen, Wolken.

Rauchstreifen kommen oft zur Beobachtung.

Diese von dem Verbrennen der Meteormassen herrührenden zurückgelassenen Spuren, die Tschermak hauptsächlich auf das Verbrennen kohliger Bestandteile zurückführt, leiten zur Beobachtung der Wolken, welche zuweilen auch zu sehen sind.

8. Schallerscheinungen.

Schallerscheinungen während der kosmischen Bahn des Meteors finden sich äußerst selten angegeben. Eine auffallende Ausnahme macht das detonierende Meteor von Homstead, gefallen am 12. Februar 1875, von dem sowohl Hinrichs wie Irish angeben, daß während des 10 Sekunden langen Zuges „rauschende, rasselnde und krachende Detonationen dem Wege des Meteors zu folgen schienen und in Zwischenräumen, wie es sich gegen Norden bewegte, mit dem Schall von deutlichen Explosionen wechselten, welche viel stärker waren als das allgemeine Geräusch der ununterbrochenen Töne“.

9. Der Stillstand, Höhe des Hemmungspunktes, der Absturz.

Der Meteorit oder die Stücke eines Schwarmes, gleichgültig ob sie als solche in die Atmosphäre eingetreten sind, oder erst durch den Widerstand

der Luft, eventuell durch Teilung infolge der Hitze, aus größeren Stücken entstanden, kommen endlich zum Stillstande. Von besonderer Wichtigkeit ist es, die Höhe dieses Hemmungspunktes auszumitteln. Der Vorgang dabei ist derselbe, welcher bei der Ausmittlung der Bahnhöhe angegeben wurde. Nach Professor Gustav v. Nießl bewegt sie sich zwischen 3,7 km (Homstead) und 46,7 km (Agram oder Hraschina). Stets ist sie aber größer als die gewöhnliche Höhe der Wolken.

Auf den Stillstand folgt der Absturz fast senkrecht, was besonders durch Galles Berechnungen bei dem Steinregen von Pultusk festgestellt ist. Die Feuererscheinungen und Schallwirkungen sind bei dem Stillstande mächtiger als jene während des kosmischen Zuges.

10. Die Feuererscheinungen, die Schallwirkungen und Wolken bei dem Stillstande.

Am Orte des Stillstandes, in dessen Zenith die Hemmung erfolgte, erscheint das Meteor, wenn nicht eine Wolke die Wahrnehmung verhindert, als eine Strahlenkugel.

Die Farbe ist meist gelb, aber auch rot oder grün; sie wechselt auch bei einem und demselben Meteor. Mit hell wie die Sonne, oder bei Nacht das Licht des Mondes und der Sterne verlöschend, wird die Intensität des Leuchtens bezeichnet. Zuweilen wurde auch ein Zucken, seltener eine rotierende Bewegung der Masse beobachtet.

Die Schallerscheinungen bei der Hemmung, die sogenannte Explosion, treten als Knalle auf, gewöhnlich sind es drei solcher Knalle; bei dem Iowa-Meteor sind fünf gehört worden.

Die Stärke des Schalles wechselt von der Stärke eines Peitschenknalles bis zu der den Knall eines großen Geschützes weit übertreffenden Erschütterung.

Merkwürdig ist die schon öfter wahrgenommene ungleiche Verbreitung des Schalles. So wird von dem Stannern-Falle angegeben, daß der Schall davon westlich bis Tabor in Böhmen auf 112 km vernommen wurde, während er östlich gegen Brünn nur auf 64 km zu hören war.

Dem Absturze gehören an das öfter bemerkte Glühen der fallenden Meteore und die bei dem Ankommen auf der Erde in dem nächsten Abschnitte angegebenen Schallwahrnehmungen.

Ist bei dem Stillstande eine Wolke vorhanden, erfolgt sozusagen der Fall aus einer Wolke, so ist deren Größe, Form, Farbe und Intensität zu bezeichnen, ebenso ob in ihr besondere Bewegungen waren. Von Wichtigkeit ist auch die Angabe, ob diese Wolke nach dem Falle noch längere Zeit sichtbar verblieben oder fortgezogen und welche Veränderungen sie gezeigt hat.

b. Das Ankommen auf dem Erdboden.

1. Lichterscheinungen.

Gewöhnlich kommen die Meteoriten ohne zu leuchten an; man sieht schwarze Körper, die zuweilen in ein Rauchwölkchen gehüllt sind. Selten zeigen die Massen ein Glühen, wie der Stein von Ochansk.

2. Temperatur.

Als „lauwarm“, „warm, wie Steine, die längere Zeit in der Sonne gelegen haben“, „warm, wie frisch gemolkene Milch“, beschreiben Leute, die Meteoriten gleich nach dem Falle berührten, deren Wärmezustand. Moos, auf welchem Meteoriten gefunden wurden, war nicht verbrannt, Schnee und Eis nicht geschmolzen, gefrorener Boden nicht aufgetaut. Doch finden sich auch hierin bei Steinen desselben Falles öfter Unterschiede.

Diesen meist beobachteten Temperaturen gegenüber erscheinen bis zum Glühen gesteigerte Temperaturen als Ausnahmen.

Im Gegensatze dazu hatten Bruchstücke des Meteorsteines von Dhurmsala in Punjab, gefallen am 14. Juli 1860, eine Temperatur unter dem Gefrierpunkte.

Theoretisch sind alle an den Meteoriten beobachteten Temperaturen leicht erklärbar, denn der Meteorit kommt mit der Temperatur des tiefkalten Weltraumes in die Atmosphäre, in der er während seiner kosmischen Bahn leuchtet und abschmilzt, was jedoch immer nur einige Sekunden dauert; er stürzt dann von dem Hemmungspunkte, der stets in einer Höhe liegt, wo die Temperatur unter dem Gefrierpunkte ist, zu Boden, ohne mehr Wärme zu entwickeln.

Meteorsteine von schlecht leitender Substanz werden also, zumal bei gehöriger Größe, im Innern die aus dem Weltraume mitgebrachte Temperatur mehr oder weniger bewahren, während ihre geschmolzene Oberfläche bei dem Absturze durch die Einwirkung des kalten Innern und der kalten umgebenden Luft erstarrt und sich bis zu dem lauwarmen Zustande abkühlt.

Eisenreiche Meteorsteine, besonders solche, welche von Eisenadern oder Eisenplatten durchsetzt sind, ferner Meteoreisen können hingegen unter günstigen Umständen, selbst während der kurzen Zeit der Erhitzung, wegen ihrer guten Wärmeleitung auch im Innern zum Glühen kommen; dann ist der Absturz in der kalten Luft nicht mehr hinreichend, dieses aufzuheben, wenngleich auch die Oberfläche zum Erstarren kommt.

3. Schallerscheinungen.

Ein Sausen, als würde eine lange Gerte in der Luft geschwungen, oder wie das eines Bienenschwarmes, ein Rauschen wie von dem Fluge zahlreicher Vögel, begleitet in der Regel das Ankommen der Meteoriten. Hört

man solche Geräusche, so ist man sicher auf dem Schauplatze des Meteorfalles. Öfter sind damit vermengt die mit der Detonation zusammenhängenden Knalle, das Knattern wie von einem Pelotonfeuer, das Rasseln, als wenn schwer beladene Wagen über Steinpflaster führen, das Rollen gleich Trommelwirbeln, das „Schwattern", ähnlich dem, welches sich beim starken Kochen von Wäsche oder Pflaumenmus ergibt, das Geräusch von zusammenschlagenden Steinen. Ist dieses der Fall, so ist darauf zu achten, in welcher Ordnung diese Schalle aufeinander folgen, denn hierbei kommen manche Verschiedenheiten vor.

Meist wird wohl nach dem Knallen der Detonation zunächst das eine oder andere der erwähnten Geräusche, und zuletzt erst das Sausen und Brausen vernommen, es sind jedoch auch Beispiele vorhanden, wo die Knalle erst auf das Sausen gefolgt sind. Auch die Dauer der einzelnen Wahrnehmungen ist womöglich anzugeben.

4. Richtung des Ankommens.

Die Richtungen des Ankommens wechseln von der vertikalen bis zur horizontalen Richtung. Bei reichen Steinfällen sind öfter alle Richtungen vertreten.

Knickung von Pflanzen, abgeschlagene Baumäste, Durchlöcherungen von Mauern geben gute Anhaltspunkte für die Bestimmung der Richtung des Ankommens.

5. Geschwindigkeit.

Die Geschwindigkeit der ankommenden Meteoriten ist vielmal kleiner, als sie infolge des zurückgelegten Fallraumes sein sollte. Es macht sich da die Hemmung von seiten der Luft geltend. Wegen dieser geringen Geschwindigkeit bleiben kleine Meteoriten auf der Ackererde oder dem Schnee liegen, während größere, bei welchen der Geschwindigkeitsverlust kein so großer, noch Äste abschlagen oder Mauern zertrümmern, wie das eines der Stücke des Braunauer Eisens tat (um 3¾ Uhr früh, am 14. Juli 1847).

Manchmal findet ein Abprallen statt. Der am 27. Dezember 1848 Abends bei Schie in Norwegen auf das Eis eines Flusses gefallene Stein hüpfte, nach den Eindrücken im Eise zu schließen, auf diesem fort, bis er liegen blieb. Und von dem Meteorsteine von Doroninsk in Sibirien, gefallen am 25. März 1805, Nachmittags um 5 Uhr, wird berichtet, daß er, von West kommend, von dem Boden abprallte und wieder nach Westen zurücksprang, bis er in kleiner Entfernung zur Erde fiel.

6. Eindringen in die Erde.

Größere Massen dringen jedoch auch mehr oder weniger tief in die Erde. Dabei ist stets die Art des Bodens maßgebend. Das größere

Stück des Eisens von Hraschina, bei Agram, war etwas über 1,4 m eingedrungen, der große Stein von Knyahinya lag 3,5 m tief. Als Tiefe ist stets der vertikale Abstand von der Erdoberfläche bis zur Unterseite des Steines zu rechnen und dies eigens anzugeben, denn es finden sich da oft Unklarheiten in den Angaben. Auch die Richtung der gemachten Öffnung ist festzustellen.

Von der Form der Öffnung ist zu sagen, ob sie kreisrund oder elliptisch war, und welche Dimensionen sie besaß.

Die Massen liegen entweder frei auf dem Grunde der gemachten Grube oder sind unter Erde oder Schutt begraben.

7. Konsistenz.

Die Meteoriten von Stannern waren zuerst so mürbe, daß sie zwischen den Fingern zerrieben werden konnten; erst nach einigen Tagen wurden sie härter; das gleiche wird von Weston berichtet. Rasches Einsaugen von Wasser bemerkte man bei Stannern; auch die Steine von Mocs saugten rasch Wasser ein. Damit im Zusammenhange steht das öfter angegebene Kleben an der Zunge. Dieses Einsaugen muß auch bei dem Einreiben mit Öl zum Zwecke des Abformens berücksichtigt werden.

8. Abfärben.

Von einem Steine von Stannern, der noch warm gefunden wurde, wird gesagt, daß er schwarz abfärbte, die Schwärze klebte an der Hand wie Wagenschmiere. Ähnliche Angaben werden von Borgo San Donnino gemacht, und vom Smolensker Steine heißt es, er habe abgerußt und darunter kam eine kaffeebraune Oberfläche zum Vorschein. Auf einigen der Knyahinyaer Steine, die wenige Tage nach ihrem Falle nach Wien kamen, wurde ein rußfarbenes Pulver nachgewiesen.

Besonders reich trat eine lockere, kohlenstoffhaltige Substanz in Begleitung der Steine von Heßle, gefallen am 1. Januar 1869, auf. Einige der Steine, welche dort bei Arnö auf das Eis fielen, gaben ein schwärzlichbraunes Pulver, das mit dem Schneewasser eine Mischung bildete, die Kaffeesatz ähnlich war. Ein ebensolches Pulver wurde in Hafslaviken in handgroßen Stücken, welche wie Schaum auf dem Wasser schwammen, gefunden. Es wurde bemerkt, daß die in derselben Gegend gefundenen Steine in der Regel ganz rund und von allen Seiten mit einer schwarzen, matten, öfter schwammähnlichen Rinde bedeckt waren.

9. Geruch.

Meteoriten, welche gleich nach dem Falle aufgehoben wurden, rochen öfter nach Schwefel. Das Auftreten dieses Geruches in weiter Verbreitung

am Fallorte wird selten angegeben. Bei Knyahinya wurde von einigen etwas Schwefelgeruch verspürt, und in einem Lokale, dessen geöffnete Fenster dem Schauplatze des Ereignisses zugekehrt waren, war er noch deutlicher.

10. Größe und Form.

Sehr wechselnd ist die Größe der Meteoriten. Unter den bei Heßle gefallenen Stücken befanden sich solche von 0,1 g; die größte von den zwei bei Chupaderos in Mexiko gefundenen schollenförmigen Eisenmassen hat ein Gewicht von 15 600 kg, die kleinere Masse ein solches von nahezu 9290 kg. Das vor wenigen Jahren in das Museum der Stadt Neuyork gebrachte Eisen von Anighito in Grönland hat gar ein Gewicht von 50 t oder 50 000 kg. Das Eisen von Bacubirito in Mexiko wird auf das gleiche Gewicht geschätzt, liegt aber noch an seiner Fundstelle.

Bei einem reichen Falle sollte nicht versäumt werden, die gesammelten Stücke ihrer Höhe nach zu vergleichen, weil sich daraus vielleicht auf die Form schließen läßt, welche manche Stücke des Schwarmes bei ihrem Eintritte in die Atmosphäre gehabt haben.

Die Form der Meteoriten wird gewöhnlich als sehr unregelmäßig angegeben, sie ist es aber keineswegs. Schon v. Schreibers hat bei Beschreibung der Steine von Stannern auf die an ihnen zu erkennende Pyramidenform hingewiesen, und an den Steinen von Mocs ist es Döll gelungen, zu zeigen, daß ihre Hauptform ein gerade fünfseitiges Prisma ist, welches nach oben von drei Flächen geschlossen wird, die wieder aufeinander rechtwinklig stehen.

Wenn, was jedoch äußerst selten vorkommt, die Kugelform erscheint, so sind dies immer sehr kleine Stücke, Kügelchen, die während des Zuges in der Atmosphäre aus dem Steine, den sie zusammensetzen helfen, herausgefallen und noch überrindet worden sind, wie das Tschermak von einigen Mocser Steinen beschrieb. Die genannten Formen wiederholen sich bei den verschiedensten Steinmeteoriten und dem Meteoreisen; sie sind ganz unabhängig von der Substanz.

Besondere Gestalten haben das ringförmige Eisen von Ainsa-Tucson, außerdem die Meteoreisen von Kockstad, Griqualand, gefunden 1887, und Hex River, Kapland, gefunden 1882, von der Form eines Säugetierunterkiefers.

Haidinger[1]) hat gezeigt, wie bei dem Ainsa-Eisenring eine Durchbohrung des plattenförmigen Eisens, das sich mit der breiten Fläche voraus bewegt hat, durch das hierbei geschmolzene Eisen während der

[1]) Haidinger, Der Ainsa-Tucson-Meteoreisenring, Sitzber. kais. Wiener Akad. II, 61. Bd., 1870.

Rotation stattgefunden hat. Die Eisen von Kockstadt und Hex River erklären sich darnach als Bruchstücke solcher Ringe, die während und infolge der Rotation im Fluge zerrissen.

11. Zahl der Meteoriten eines Falles.

Die Zahl der von einem Meteorfalle bekannt gewordenen Stücke wechselt sehr. Ein Exemplar lieferten z. B. Groß-Divina, gefallen 24. Juli 1837, und Krähenberg, Rheinpfalz, gefallen 5. Mai 1869. Von Orgueil, Frankreich, gefallen 14. Mai 1864, sind 100, von Knyahinya 1000 und von L'Aigle, Frankreich, gefallen 26. April 1803, rund 3000 Stücke bekannt. Der Steinregen von Mocs gab 2760 Stück mit einem Gesamtgewicht von 385 kg. Von der Zahl der bekannt gewordenen Stücke ist die Zahl der gefallenen Stücke wohl zu unterscheiden, denn nicht alles wird immer gefunden, manches wird auch verheimlicht.

12. Verteilung auf der Fallfläche.

Die Fläche, das heißt das Terrain, auf welcher bei Fällen, welche mehrere Meteoriten geliefert haben, dieselben liegen, nennt man Fallfläche oder Streufeld. Letzterer Ausdruck ist weniger passend, denn die Lage der Stücke ist keineswegs eine solche, welche ein Ausstreuen von einem Punkte annehmen ließe. Durch Verbindung der äußersten Stellen mit geraden Linien wird die Figur der Fallfläche erhalten. Man hat wohl bis jetzt diese Verbindung durch eine gekrümmte Linie hergestellt, wie das zuerst Biot anläßlich des Falles von L'Aigle tat. Die Verbindung durch gerade Linien ist jedoch vorzuziehen, weil das weniger willkürlich ist.

Form und Ausdehnung der Fallfläche.

Die Untersuchung der Fallfläche hat immer nur Figuren ergeben, welche sich durch eine Ellipse oder ein Oval umschreiben ließen. Die Fallfläche von Mocs hat die Form einer langgestreckten Ellipse. Sie besitzt zugleich die längste Ausdehnung, denn sie erstreckte sich von Gyulatelke im Nordwesten bis etwas über Mocs hinaus in einer Länge von 15 km und ist bis 3 km breit.

Lage der großen Achse zu der Bahnebene.

Die in dieser Beziehung gemachten Untersuchungen haben ergeben, daß bei den meisten Fällen die Lage der großen Achse parallel zur Ebene der Meteorbahn ist. Zuweilen zeigen sich jedoch auch Abweichungen davon um einige Grade. Die bedeutendste Abweichung fand Professor Galle bei Pultusk, wo diese 45° ausmacht[1]).

---

[1]) Bei Jeliza scheint diese Schwenkung sogar 79° zu betragen.

Lage der Breitseite des Ovales.

Wenn die Figur der Fallfläche ein Oval ist, so liegt dessen Breitseite meist nach der Richtung gekehrt, aus welcher das Meteor gekommen. Eine Ausnahme hiervon macht der Fall von Knyahinya, bei welchem die schmälere Seite am Anfangspunkte des Fallfeldes ist.

Verteilung der Meteoriten auf der Fallfläche.

Ordnung nach der Größe.

Im wesentlichen gilt, daß die Meteoriten auf der Fallfläche in der Richtung der großen Achse nach der Größe verteilt sind. Sehr wechselnd ist aber die Lage in Bezug auf den Anfang der Fallfläche. Einmal liegen die größten Stücke an deren Anfange, wie von L'Aigle, Stannern und Knyahinya angegeben wird, das andere Mal am Ende.

Außerdem lassen sich zuweilen Gruppen wahrnehmen. Schreibers fand die Meteoriten von Stannern in drei Haufen verteilt.

Reihung quer zur Achse und längs der Achse.

Quer zur Achse sind sehr deutlich Stücke von Jeliza gestellt, wo auch anderseits eine Reihung längs der Achse und parallel zu ihr hervortritt. Diese eigentümliche Anordnung beweist zugleich, daß bei dem Falle keine Explosion und Zerstreuung von einem Punkte stattfand.

13. Zustand der Atmosphäre.

Zuletzt ist noch der Zustand der Atmosphäre anzugeben. Bei Stannern trat bei hellem Morgen kurz vor dem Falle ein dichter, rötlicher Nebel auf, der sich während des Falles verdichtete und erst nach vier Stunden völlig verschwand. Er war in der Richtung des Falles verbreitet und hatte ungefähr die Ausdehnung der Verbreitung des Schalles. Wolkenbedeckung wird erklären, warum keine Feuererscheinung wahrnehmbar gewesen, denn der Stillstand der Meteore erfolgt, wie Professor v. Nießl nachgewiesen, stets in einer Höhe, die sich oberhalb der Wolkenregion befindet. Ein Sturm kann die Ablenkung der nach der Hemmung zur Erde abstürzenden Meteore bewirken, wie das nach Professor Galle bei Pultusk der Fall war.

II. Die Gewinnung von Nachrichten über beobachtete Fallerscheinungen und das Aufsammeln der Meteoriten.

Bei den meisten zur Beobachtung gelangenden Fällen werden nicht nur eine Person, sondern mehrere, ja sogar viele Zeugen des Ereignisses gewesen sein. Um ein möglichst vollständiges Gesamtbild des Vorfalles gestalten

zu können, wird es sich also darum handeln, die einzelnen Beobachter ausfindig zu machen, um von ihnen ihre Wahrnehmungen, so wie sie aufgefaßt wurden, ohne alle Beeinflussung und jegliche Zutat, mitgeteilt zu erhalten.

Eine Bitte um Einsendung von Nachrichten in den Tagesblättern, besonders in den Lokalblättern der Gegend, wo der Fall stattgefunden, wird immer einen Erfolg haben. Die Zeitungen stellen sich da gerne in den Dienst der Wissenschaft.

Ein sehr wirksames Mittel ist auch die Aufforderung der Landeszentralstelle an die Unterbehörden, Berichte über den stattgefundenen Meteorfall einzusenden. So haben die Landesregierungen von Niederösterreich, Mähren und Böhmen bei dem Falle von Stannern ein umfängliches, wertvolles Material gesammelt.

Neben der Bitte in den Zeitungen und den Einforderungen von Berichten durch die Verwaltungsbehörden, ist noch die Entsendung eines oder mehrerer Fachmänner an den Fallort ins Auge zu fassen, ja es ist eine solche am wichtigsten. Auch hier hat Österreich durch die Entsendung einer Kommission nach Stannern ein gutes Beispiel gegeben.

Bei allen diesen Veranstaltungen ist in erster Linie zu berücksichtigen, daß sie ohne allen Zeitverlust, ja unverzüglich eingeleitet werden, denn so schnell sich der Fall der Meteoriten vollzieht, so schnell fast verblaßt auch die Erinnerung daran. So hatte der Fall von Stannern, obwohl er unter mächtiger Schallerscheinung stattgefunden, die bis Krems an der Donau hörbar gewesen, bei den Bewohnern der Umgegend 8 Tage darnach kaum eine Spur von Teilnahme hinterlassen.

Ein zweiter zu besprechender wichtiger Punkt ist die Art der Abgabe von Äußerungen. Es empfiehlt sich, an die Beobachter einen Fragebogen zu senden oder dessen Rubriken deren persönlicher Einvernahme zu Grunde zu legen. Auf was es da ankommt, ist aus den vorstehenden Abschnitten zu ersehen. Daneben ist es wünschenswert, sich von dem einzelnen Beobachter einen zusammenhängenden Bericht geben zu lassen.

Die durch solche Fragen erhaltenen Beantwortungen bilden mit den zusammenhängend gegebenen Darstellungen der Augenzeugen die Akten des Falles. Neben dem aus ihnen sich ergebenden Gesamtbilde und den daraus gezogenen Folgerungen müssen trotz ihrer öfteren Unbeholfenheit die einzelnen Aussagen wörtlich wiedergegeben sein, wenn eine solche Arbeit auch in der Zukunft den kommenden Forschern eine Quelle der Erkenntnis sein soll.

Bei der Aufsammlung der Meteoriten sind die oben über die Ankunft der Meteoriten auf dem Boden gegebenen Anhaltspunkte zu benutzen. Das dort über die Form und Ausdehnung der Fallfläche, die Verteilung der Meteoriten darauf in Gruppen und der Ordnung nach der Größe Gesagte kann dabei leiten. Nicht oft genug kann aber hervor-

gehoben werden, daß man sich durch einen oder einige Funde nicht abhalten lassen soll, weiter zu suchen. Das scheint aber gar oft geschehen zu sein. Man ist nach einem solchen Funde vergnügt darüber, den Spektakelmacher zu haben, denkt aber nicht daran, daß deren mehrere gewesen sein können, ja müssen, wenn die solche Ereignisse so oft begleitenden riesigen Feuererscheinungen und die mächtigen Schallerscheinungen in Rechnung gezogen werden.

Schwieriger wird es sein, Meteoriten zu finden, wenn wohl alle Erscheinungen den Fall von solchen in der Nähe mit Bestimmtheit vermuten lassen, aber das Zubodenkommen, auch nicht einmal von einem Stückchen, einen Zeugen hatte. Da bleibt nur übrig, ein förmliches Treibjagen darauf abzuhalten, wie das Baron v. Reichenbach getan hat, um der am 25. November 1833 bei Blansko gefallenen Meteoriten habhaft zu werden.

C. Aufsuchung und Untersuchung technisch nutzbarer Ablagerungen.

Kapitel 38.

Die Aufsuchung und Untersuchung von Gegenständen bergbaulichen Betriebes [1]).

Von Prof. Dr. P. Krusch, Berlin.

I. Merkmale der Erzvorkommen an der Tagesoberfläche.

Terrainkanten. Der Härteunterschied zwischen der Ausfüllung der Erzlagerstätten und dem Nebengestein spielt bei der eventuellen Ausprägung des Erzvorkommens an der Tagesoberfläche eine große Rolle. Besteht die Ausfüllung, wie es häufig vorkommt, wesentlich aus Quarz, so ist die Lagerstätte meist härter als das Nebengestein und bildet infolgedessen — wenn sie nicht zu hoch von Zersetzungsprodukten bedeckt wird — eine Terrainkante oder einen mehr oder weniger hohen Wall.

Ist die Ausfüllung der Erzlagerstätte weicher als das Nebengestein, so erkennt man den Verlauf des Vorkommens an einer Furche oder, was schließlich dasselbe ist, das Nebengestein bildet an der Grenze der Erzlagerstätte Erhöhungen.

Am ungünstigsten liegt der Fall, wenn Erzlagerstätte und Nebengestein annähernd gleich hart sind; dann hat man keinen derartigen Anhaltspunkt für den Verlauf des Vorkommens an der Tagesoberfläche. Diese Eigentümlichkeit zeigen zum großen Teil die Gänge der jungen Goldgruppe.

[1]) Siehe Genaueres über die einzelnen Metalle in P. Krusch: Untersuchung und Bewertung von Erzlagerstätten. Stuttgart, F. Enke 1907.

Färbungen. Die Verbindungen einiger Schwermetalle, z. B. Eisen, Kupfer und Nickel haben auffällige Farben.

Da alle Erzlagerstätten mehr oder weniger Eisenverbindungen enthalten und bei allen Zersetzungsprozessen das Endprodukt Eisenoxydhydrat oder Eisenoxyd ist, ist die Erzlagerstätte in der Nähe der Tagesoberfläche häufig in eine eisenreiche Masse umgewandelt, die sich durch ihre braune oder rote Farbe vom Nebengestein abhebt und eventuell als eiserner Hut bezeichnet wird.

Enthält die Erzlagerstätte Kupfer, so ist am Ausgehenden die Gelegenheit für die Bildung von intensiv gefärbten Karbonaten: Malachit (grün), Kupferlasur (blau), oder Silikaten: Kieselkupfer (blaugrün), gegeben.

Bei Gegenwart von Kobalt- und Nickelerzen finden sich, wenn die primären Erze arsenidisch sind, die charakteristischen Färbungen von Kobalt- und Nickelblüte.

Verwerfer als Erzlagerstätten. In den Fällen, wo die Erzlagerstätte zugleich eine Verwerfung darstellt, welche mit Seitenverschiebungen verbunden ist, kann man durch Kartierung charakteristischer Gesteinsschichten an deren Seitenverschiebungen den Verlauf der Erzlagerstätte feststellen, ohne irgendwelche anderen Erzlagerstättenmerkmale zu haben. Bedingung hierfür sind eine zuverlässige topographische Karte, welche man sich eventuell selbst herstellen kann, und die Kenntnis der bei der geologischen Kartierung in Frage kommenden Gesichtspunkte.

Die Kartiermethode ist besonders in den Fällen von besonderem Wert, wo die Erzführung erst mit größerer Tiefe unter der Tagesoberfläche einsetzt.

Benutzung von Quellen. Lagerstätten, welche an Spalten oder Spaltensysteme gebunden sind, können Veranlassung zur Bildung von Quellenlinien geben. Im Gebirge sind teilweise offene Spalten häufig mit Wasser ausgefüllt, und das Wasser tritt in sogenannten Spaltenquellen zu Tage. Die Lage der Quellenpunkte gibt dann die Richtung an, in der sich die Erzlagerstätte erstreckt.

Pflanzen. Da einige Pflanzen entweder gewisse Metallgehalte zu ihrer Entwicklung brauchen oder charakteristische Veränderungen in Bezug auf Blüten oder Blätter erleiden, wenn sie gezwungen sind, Metallsalze aufzunehmen, kann man sie unter günstigen Umständen bei der Verfolgung von Erzlagerstätten verwenden.

Es sei hier das Galmeiveilchen, Viola lutea var. calaminaria in der Nähe des Ausgehenden von Zinkerzlagerstätten in Oberschlesien, Westfalen und Belgien erwähnt, ferner Amorpha canescens Nutt., ein Schmetterlingsblütler, welcher auf tonigem, bleiglanzhaltigem Boden, z. B. in Missouri, vorkommt, sowie eine Caryophyllee, Polycarpaea spirostylis, die auf kupferhaltigem Boden in Queensland vorkommt und in der Asche immer Kupfer enthält.

Treten in einem gleichmäßig zusammengesetzten Gebiete mit naturgemäß gleicher Vegetation auffällige, eventuell bestimmt angeordnete Pflanzenveränderungen auf, so wird man durch den Schürfgraben festzustellen versuchen, ob diese Pflanzenveränderungen vielleicht auf dem Einfluß von Erzen beruhen.

Bekannt ist z. B., daß Erzgänge in Getreidefeldern sich durch eine abweichende entweder hellere oder dunklere Färbung des Getreides kenntlich machen.

Benutzung von Bruchstücken u. s. w. Bruchstücke von Erzlagerstätten entstehen auf die verschiedenste Weise. Ein Gang mit härterer Ausfüllung als das Nebengestein wird unter günstigen Verwitterungsbedingungen nach und nach eine freistehende Mauer bilden, welche sich infolge des Einfallswinkels der Lagerstättenplatte nur bis zu einer bestimmten Höhe halten kann; sie bricht dann zusammen, und die Bruchstücke der Erzlagerstätte bleiben, wenn keine intensiveren Niederschläge vorkommen, in einer langen schmalen Zone liegen.

In diesem Fall, den ich z. B. vor wenigen Jahren an einem Vorkommen im Taunus beobachtet habe, befinden sich die Bruchstücke annähernd parallel zum Streichen der Lagerstätte in deren Liegendem. Ein Schürfgraben, rechtwinklig zur Längserstreckung der Trümmerzone, wird bald zur Aufsuchung des Vorkommens führen.

Die Bruchstücke können durch fluviatile Wirkungen oder durch Gehängerutschung in die Täler transportiert und vom Wasser aufbereitet werden.

Bei der Aufsuchung der primären Lagerstätte, von welcher derartige Stücke stammen, muß man daran denken, daß das Vorkommen flußaufwärts vom letzten aufgefundenen Erzgerölle liegen muß; wurde das Stück im Gehängeschutt am Talabhang gefunden, so wird man das Erzvorkommen oberhalb dieser Stelle zu suchen haben.

Bei dem Auftreten von Bruchstücken im Laterit kann man ziemlich sicher sein, daß das primäre Vorkommen nicht weit entfernt ist, weil ein großer Teil der im Laterit befindlichen Gesteinsbruchstücke den in unmittelbarer Nähe anstehenden Gesteinsschichten entstammt.

In den Fällen, wo der Anfang der eluvialen Seifenbildung vorliegt, d. h. wo die leicht transportier- und zersetzbaren Bestandteile der Erzlagerstätte, also meist das nicht Nutzbare, fortgeschafft worden sind, während das Nutzbare, Widerstandsfähigere an Ort und Stelle liegen blieb, ist das primäre Erzvorkommen unmittelbar unter den Bruchstücken zu suchen.

Magnetismus der Mineralien. In wie weit der Magnetismus gewisser Mineralien ein wertvolles Hilfsmittel bei der Aufsuchung und Verfolgung nicht aufgeschlossener Erzlagerstätten bietet, ergibt sich aus dem Abschnitt über Schürfmethoden S. 350.

Reste alten Bergbaues oder Hüttenbetriebes. Besondere Aufmerksamkeit hat man auch den Spuren und Resten alten Bergbaues oder Hüttenbetriebes zuzuwenden. Man kann durch deren Beobachtung sowohl in die Lage kommen, früher aufgegebene Lagerstätten, deren Abbau durch die heute verbesserten Gewinnungs- und Hüttenmethoden wieder lohnend geworden ist, als auch solche Erze aufzufinden, deren Wert zur Zeit jenes Abbaues noch vollkommen unbekannt war (Bauxit, Nickelerze). Die Lage der alten Halden ermöglicht oft einen sicheren Schluß auf die Beschaffenheit der darunter befindlichen Lagerstätten. Unverkennbar, selbst wenn mehrere Richtungen einander kreuzen, sind infolge der geradlinigen Anordnung der einzelnen Halden zu ganzen Zügen die Gänge, während eine ganz unregelmäßige Lage der Halden im allgemeinen auf Flöze, Stockwerke oder flachfallende Lager oder eine sehr unregelmäßige Verteilung der Edelerze hinweist. Folgen solche Halden ganz ausschließlich den Talzügen, so wird man leicht aus ihrer Beschaffenheit ermitteln können, ob man es mit Ganghalden oder mit sogenannten Raithalden, d. h. den aus der Bearbeitung von Seifenlagern hervorgegangenen Halden zu tun hat.

Aus dem Innern der Halden läßt sich in vielen Fällen noch die Beschaffenheit der Lagerstätte wiedererkennen, die Erzführung, Verwachsung der Bestandteile und die Beschaffenheit des Nebengesteins.

Nicht minder hat man auf die Spuren alten Hüttenbetriebes zu achten, da im Altertum in den meisten Fällen die Hütten nicht weit von den Lagerstätten standen. Auch hier wird die Beschaffenheit und die chemische Zusammensetzung des Schlackenmaterials oder gar das Auffinden von Erzresten in der Regel Schlüsse auf die Natur der Erze bezw. der Lagerstätte gestatten.

II. Schürfmethoden.

Nach der allgemein üblichen Einteilung der Schürfmethoden sind zu unterscheiden:

1. das gewöhnliche Schürfen,
2. das Bohren zum Zweck der Untersuchung von Erzlagerstätten,
3. die magnetische Schürfung,
4. die elektrische Schürfung.

1. Die Vorbedingung des erfolgreichen Schürfens ist die geologische Untersuchung des Gebietes. In den Fällen, wo es sich um Erzlager, also um besonders zusammengesetzte Gesteinsschichten handelt, oder wo die Entstehung der Lagerstätten durch gewisse chemische Eigenschaften der Nebengesteinsschichten bedingt wurde, deckt sich die Aufsuchung der Lagerstätten mit der geologischen Kartierung und setzt die Kenntnisse voraus, welche von einem Feldgeologen verlangt werden.

Das Schürfen hat den Zweck, Aufklärung über die Form und den Inhalt der Lagerstätten zu geben.

Das einfachste Schürfmittel ist der Schürfgraben, welcher das Ausgehende bloßlegen soll. Er ist notwendig, weil nur in den seltensten Fällen das feste Gestein zu Tage ansteht, meist aber die Verwitterungsprodukte eine häufig mehrere Meter betragende Decke bilden. Bei unregelmäßig geformten Lagerstätten müssen viele in verschiedenen Richtungen angelegte Gräben aufgeworfen werden. Bei plattenförmigen Lagerstätten sind die Schürfgräben rechtwinklig zum Streichen anzusetzen.

In den Fällen, wo der Prospektor die Schürfgräben ohne Kenntnis des geologischen Baues ansetzt, verlaufen sie häufig genug fast parallel den Erzvorkommen und werden mitunter dicht vor der Lagerstätte ergebnislos abgebrochen.

Die Bergbaukunde rät, den Graben da zu beginnen, wo man die Lagerstätte gefunden hat, ihn bis auf das feste Gestein zu vertiefen und nach beiden Seiten zu verlängern. Aus praktischen Gründen gibt sie weiter an, daß die Arbeiter das gefundene Material hinter sich verstürzen sollen, damit Arbeitslohn und Zeit gespart werden. Diese Methode ist ausreichend in den Fällen, wo der betreffende Beurteiler der Lagerstätte bei der Ausführung der Schürfarbeiten zugegen ist, andernfalls muß aber der Graben, soweit er die Lagerstätten durchquert, offen gehalten werden, ein Verfahren, welches überhaupt im allgemeinen deshalb vorzuziehen ist, weil es nicht immer möglich ist, an einem kleinen Querschnitt Form und Ausfüllung der Lagerstätte festzustellen.

Soll nicht nur das Ausgehende untersucht, sondern auch die Zusammensetzung der Lagerstätten in größeren Tiefen festgestellt werden, so bedarf es der Schürfstollen und Schürfschächte.

Schürfstollen sind billiger, aber nur in Gebieten anwendbar, wo die Oberflächenform derartige Anlagen ermöglicht. Unter günstigen Umständen setzen sie den Experten in den Stand, eine Untersuchung bis zu bedeutender Tiefe unter dem Ausgehenden, häufiger sogar bis zur primären Zone, d. h. des Lagerstättenteils unter dem Grundwasserspiegel vorzunehmen.

Liegen keine tieferen Taleinschnitte vor, befindet man sich z. B. auf einem Hochplateau, so müssen Schürfschächte angelegt werden. Mit ihnen kommt der Prospektor mangels ausreichender Hilfsmittel in der Regel nur bis zum Grundwasserspiegel, denn in verhältnismäßig seltenen Fällen hat er Einrichtungen, größere Wassermassen zu heben. Für die Praxis außerordentlich wichtig ist, daß er dann nur denjenigen Teil der Lagerstätte kennen lernt, welcher durch die Einwirkung der Tagewässer in vielen Fällen sekundär umgewandelt wurde. Diese Verschiebung des ursprünglichen Metallgehaltes bei einzelnen Metallen (Gold, Silber, Kupfer u. s. w.) spielt aber eine sehr wichtige Rolle. Hier sei nur erwähnt, daß infolge der

Anreicherung, welche über dem Grundwasserspiegel durch die chemisch-geologischen Prozesse in der Regel stattfindet, die Proben bei derartigen Aufschlußarbeiten fast durchgehend zu hoch ausfallen und infolgedessen zu zahlreichen Übergründungen Veranlassung gegeben haben.

2. Da es in der Regel unmöglich ist, mit dem einfachen Hilfsmittel der Schürfschächte in die primäre Zone zu gelangen, ist die Schürfbohrung von der größten Wichtigkeit.

Die Praxis zeigt naturgemäß, daß der größte Erfolg der Schürfbohrung dann zu erwarten ist, wenn die Lagerstätte eine relativ regelmäßige Verteilung des Metallgehaltes aufweist. Je unregelmäßiger die Erzmittel in der Lagerstättenmasse verteilt liegen, desto unsicherer ist der Erfolg der Bohrungen, ebenso wie der aller anderen bergmännischen Aufschlußarbeiten.

Der deutsche Erzbergbau ist im Gegensatz zum Kohlenbergbau in der Einführung von Neuerungen schwerfällig. So hat die sogenannte Schürfbohrung, welche es ermöglicht, von der Tagesoberfläche oder irgend einem Punkte der Grube aus die Lagerstätte unter beliebigem Winkel zu untersuchen, in Deutschland erst in den letzten Jahren Eingang gefunden, während sie im Auslande, z. B. in Amerika und den englischen Kolonien schon seit langer Zeit ein wichtiges Aufschlußmittel war (siehe Fig. 166).

Auf die einzelnen Patente der Horizontal- und Schrägbohrmaschinen will ich hier nicht eingehen.

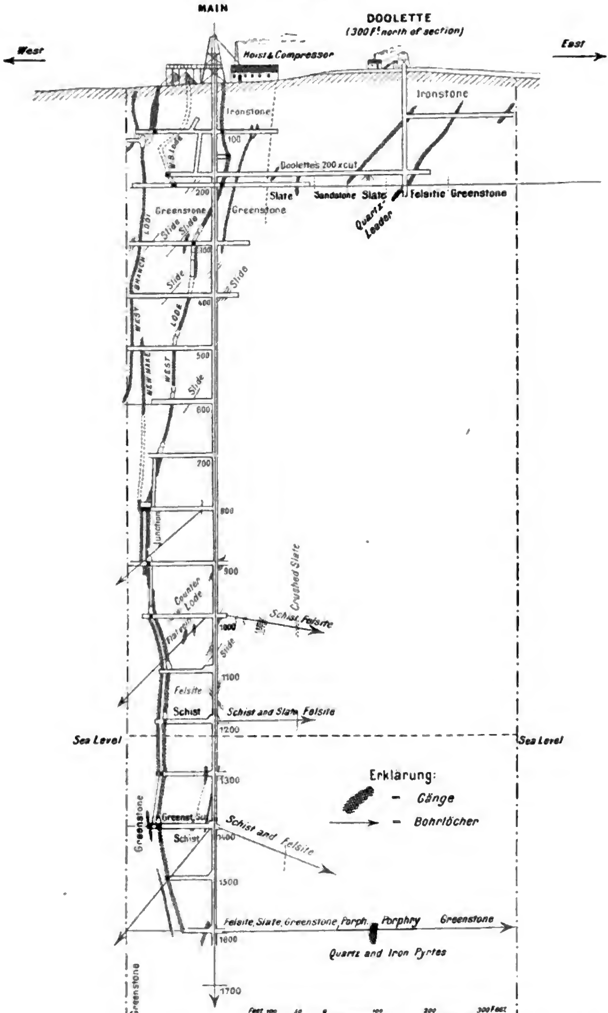
Die Maschinen sind sowohl für den Hand- als auch für den Kraftbetrieb eingerichtet. Bei Kraftbetrieb kann je nach den vorliegenden Verhältnissen sowohl Dampf als auch komprimierte Luft u. s. w. angewandt werden. Während man mit Handbetrieb mit Vorteil in der Regel kaum weiter als 50—70 m bohren kann, gibt es Konstruktionen mit Kraftbetrieb für horizontale und schräge Bohrlöcher von 1200 m und mehr Länge. Die Maschinen liefern durchgängig Kerne[1]).

Das Bedenken, daß bei Schräg- oder Horizontalbohrungen eine abnorme Abweichung von der Horizontalrichtung oder dem gewünschten Winkel stattfindet, hat sich als irrig herausgestellt. Es gibt Gesellschaften, welche nicht mehr als $\frac{1}{2}$ Prozent Abweichung von der beabsichtigten Richtung garantieren. Da man in der Lage ist, von der Oberfläche aus unter beliebigen Winkeln die Lagerstätte zu durchbohren, kann man bei gewissenhafter Untersuchung der Kerne ein zuverlässiges Profil durch die Lagerstätte konstruieren, obgleich keine kostspieligen Grubenanlagen vorhanden sind.

Da die Bohrfortschritte naturgemäß viel bedeutender sind als die Fortschritte beim Streckentreiben — unter normalen Umständen kann man bei Kraftbohrbetrieb auf 9 m täglich rechnen —, gewährt das Bohren den

[1]) In Deutschland führt derartige Arbeiten die Allgemeine Schürfgesellschaft in Düsseldorf, Hansahaus, aus.

Fig. 166.



Profil durch die Gänge der Great Boulder, Westaustralien. Aufschließen durch Bohrlöcher (durch Pfeile bezeichnet) zeigend. (Jahresbericht der Gesellschaft 1902.)

Vorteil, daß in einer Zeiteinheit viel mehr Meter Aufschlußlänge als bei dem idealsten maschinellen Streckenbetrieb erzielt werden.

Auf den Plänen der Gruben englischer Kolonien findet man die Richtung dieser Bohrlöcher durch Pfeile (siehe Fig. 166) angegeben, an diesen steht die Länge des Bohrloches und seine Neigung gegen die Horizontale. Die Bohrkerne sind aufzubewahren, soweit sie nicht zur Untersuchung benutzt werden. Durch die Bohrlöcher werden genaue Profile gelegt, und man geht häufig erst zur Grubenanlage über, wenn durch Bohren das Verhalten der Lagerstätte in der ganzen Konzession genau festgestellt ist.

Die Art, wie man die gewonnenen Bohrkerne bei der Probenahme benutzt, geht aus dem Abschnitt IV S. 373 hervor.

3. Die magnetische Schürfung. Das Prinzip der magnetischen Schürfung beruht auf der Abweichung, welche eine Erzlagerstätte auf eine Magnetnadel in horizontaler und vertikaler Richtung ausübt. Sie kann zur Aufsuchung und Feststellung der Verbreitung des Erzkörpers dienen. Es sind also nur solche Erze nachzuweisen, welche einen großen Einfluß auf die Magnetnadel haben. Die magnetische Schürfung bewährt sich infolgedessen besonders bei Eisenerzen und zwar am besten bei Magneteisen.

Der einfachste Bergkompaß ist so eingerichtet, daß die Nadel in einer Büchse nicht nur in der Horizontalen, sondern auch in der Vertikalen schwingen kann. Das zu untersuchende Gebiet wird in kleine Quadrate eingeteilt, deren Ecken durch eingeschlagene Holzpflöcke kenntlich gemacht werden, und man beobachtet die Intensitäten der Ablenkung an den Quadratecken. Wenn diese Intensitäten sorgfältig auf eine sogenannte magnetische Karte aufgetragen werden, bekommt man bei Magneteisen Flächen größerer Intensität in Gebieten, in denen im allgemeinen nur eine ganz verschwindende Abweichung durch irgendwelche andere Einflüsse stattfindet. Ist eine magnetische Schürfkarte genau gearbeitet, so gehen aus ihr z. B. bei magnetischen Eisenerzlagern, die durch Querverwerfungen zerstückelt wurden, die durch die Verwerfungen eventuell bewirkten Seitenverschiebungen der einzelnen Stücke deutlich hervor.

Die magnetische Schürfung ist zweifellos recht gut im hohen Norden, z. B. in Schweden und Norwegen anzuwenden; sie ist noch anwendbar im mittleren Deutschland; die Erfahrung lehrt aber, daß sie umsoweniger zuverlässig ist, je weiter man sich von dem Nordpol entfernt, und Untersuchungen, welche z. B. in Spanien angestellt wurden, ergaben, daß sie hier teilweise versagt. Man kann also den Satz aufstellen, daß die magnetische Schürfung umsoweniger zu empfehlen ist, je weiter der betreffende Punkt vom Nordpol entfernt liegt. Für die südliche Halbkugel dürften analoge Gesichtspunkte maßgebend sein.

4. Die elektrische Schürfung. Auf anderen Prinzipien als die magnetische Schürfung beruht die elektrische, welche sich vorläufig noch im Versuchsstadium befindet. Da ich selbst Gelegenheit hatte, bei der Vorführung von Versuchen zugegen zu sein, möchte ich hier kurz meinen Eindruck niederlegen. Der Apparat bestand im wesentlichen aus einem Induktionsapparat mit einer kräftigen Batterie. Vermittels zweier Eisenstäbe, welche durch einen Draht miteinander verbunden sind, wird ein geschlossener Strom hergestellt und durch die Eisenstäbe in den Boden geleitet. Die Linie, welche die beiden Eisenstäbe miteinander verbindet, heißt Basis; zwei andere Eisenstäbe, die ebenfalls durch einen Draht verbunden werden, sind je mit einem Telephonhörer versehen und stehen in keiner Verbindung mit dem geschlossenen Induktionsstrom. Steckt man die beiden Telephonstäbe in die Erde, ungefähr parallel zur Basis, und bringt dann den Hörer an das Ohr (es gehören zwei Mann zur Vornahme des Versuchs), so zeigt sich, daß das Ticken des Induktionsapparates deutlich gehört wird, obgleich nur die Erde die Verbindung zwischen dem Telephon und dem Induktionsstrom herstellt.

Haben die Gesteine, welche die Leitung vermitteln, gleiche Zusammensetzung, so ist das Ticken gleichmäßig; ändert sich die Zusammensetzung, so merkt man Unterschiede in der Intensität des Tickens: es nimmt ab, wenn die Leitung besser ist, und zu, wenn die Hindernisse größer werden.

Da eine Erzlagerstätte in der Regel eine wesentlich andere Zusammensetzung als das Nebengestein hat, so müßte theoretisch der Verlauf des Erzvorkommens durch eine solche elektrische Schürfmethode festgestellt werden können. Die Praxis lehrt indessen, daß die Methode vorläufig noch zu fein für das Schürfen ist. Ich konnte konstatieren, daß künstliche Bodenausfüllungen und kleine Halden schon einen Unterschied in der Intensität des Tickens hervorbringen. Sogar in einem Ganggebiete mit typisch ausgeprägten Gängen zeigte sich die Überempfindlichkeit des Apparates. Sobald der Boden naß ist, beeinflußt er die Leitung der Erdrinde, ebenso lediglich mit Wasser gefüllte Spalten.

Die elektrische Schürfung gibt also nicht nur Erzlagerstätten, sondern überhaupt Leitungsunterschiede der Gesteine an. Sie dürfte vorläufig nur bei der Aufsuchung von Erzlagerstätten in Gebieten helfen, welche gleichmäßige Gesteinszusammensetzung und Wasserführung haben und bei denen der Leitungsunterschied zwischen der Ausfüllung der Erzlagerstätten und dem Nebengestein ein großer ist. Diese Erfahrung schließt natürlich nicht aus, daß man in der Zukunft Mittel und Wege findet, die Überempfindlichkeit zu beseitigen.

III. Einteilung der Erzlagerstätten.

So verschieden auch die Einteilungen in den einzelnen Lehrbüchern über Erzlagerstättenlehre sind, so kehren doch gewisse Erzlagerstättengruppen bei allen neueren Autoren wieder, sind also allgemein anerkannt.

Alle Forscher unterscheiden: magmatische Ausscheidungen, Kontaktlagerstätten, Gänge, metasomatische Lagerstätten, Lager und die zu ihnen gehörigen Imprägnationszonen und Seifen.

Magmatische Ausscheidung.

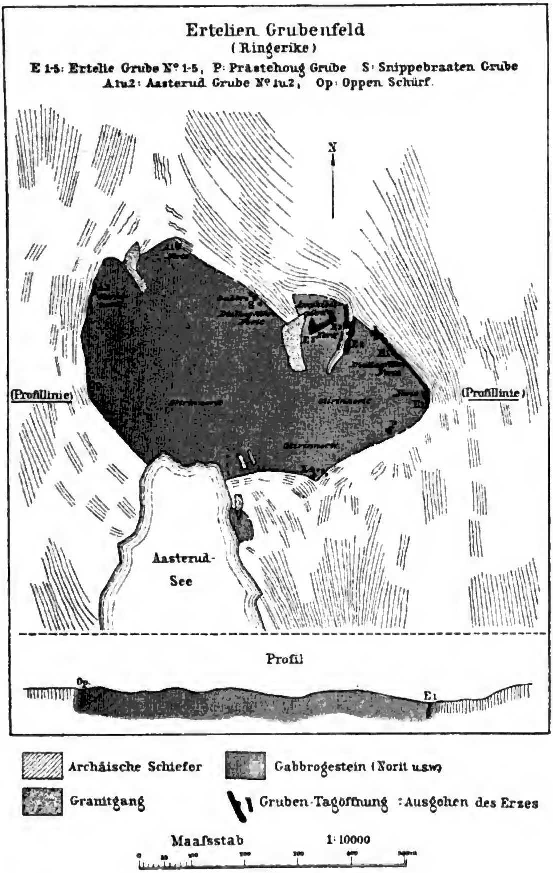
Unter magmatischen Ausscheidungen verstehen wir Erzvorkommen, welche einer Spaltung des eruptiven Magmas, einer sogenannten Differentiation, ihr Dasein verdanken. Genau so, wie sich aus einem Granitmagma größere Mengen von Quarz, Feldspat oder Glimmer in einzelnen Fällen ausscheiden können, gibt es Aussonderungen von Erzen, z. B. Magneteisen, Titaneisen, Magnetkies u. s. w., bei solchen Eruptivgesteinen, welche normalerweise die genannten Erze als akzessorische, d. h. untergeordnete Bestandteile führen.

Da die sogenannte Basizität eines Eruptivgesteins von der Menge der Schwermetalloxyde abhängt, ergibt sich naturgemäß, daß die basischen Eruptivgesteine mehr zur Bildung magmatischer Erzausscheidungen geeignet sind, als z. B. die sauren. Ebenso wie wir aber bei den letzteren basische Schlieren finden, so kommt — wenn auch selten — der Fall vor, daß unter besonders günstigen Umständen fast der ganze Schwermetallgehalt eines sauren Eruptivgesteinsmagmas sich zu einer Erzlagerstätte konzentrieren kann.

Die Genesis der magmatischen Ausscheidungen, welche bald am Rande, bald in der Mitte des Eruptivgesteins auftreten, bedingt eine unregelmäßige Form der Erzkörper (siehe Fig. 167). Für den Experten ergibt sich aus der Entstehung der magmatischen Erzlagerstätten zweierlei: 1. er kann sie nur innerhalb des Eruptivgesteins finden und 2. da es keine Gesetzmäßigkeit in der Form des Erzkörpers gibt, ist er gezwungen, die Erzlagerstätten nach allen Richtungen zu durchfahren oder abzubohren, ehe eine Massenberechnung möglich ist.

Die Genesis zwingt ihn also zur Vorsicht bei der Aufstellung des Bergbauprojektes und zur sorgfältigen Feststellung des Erzvorrates, ehe die Größe des Unternehmens, und damit des Anlagekapitals, bestimmt wird.

Fig. 167.



(Vogt. Z. f. pr. Geol. 1893 S. 136.)

Kontaktlagerstätten.

Eine zweite Gruppe von Erzvorkommen sind die **Kontaktlagerstätten**. Im Gegensatz zu manchen Lehrbüchern, welche unter Kon-

taktlagerstätten auch solche Vorkommen verstehen, die an der Grenze zweier verschiedener Gesteine liegen, wird der Name hier auf die Vorkommen beschränkt, welche ihr Dasein den kontaktmetamorphen Einwirkungen eines eruptiven Magmas verdanken. Treten aus einem glutflüssigen Magma Minerallösungen aus, so bewirken sie nicht nur eine Umkristallisation der Bestandteile des Nebengesteins, sondern sie führen auch mineralische Stoffe, welche sie aus dem Magma extrahieren, in die Nebengesteinsschichten hinein. Diese beiden Vorgänge können die Konzentrationen von Metallgehalten innerhalb der kontaktmetamorphen Umwandlungszone zu Erzlagerstätten bewirken. Die Erzvorkommen befinden sich entweder unmittelbar an der Grenze des Eruptivgesteins oder in mehr oder weniger großer Entfernung von ihm, aber immer innerhalb des Kontaktgürtels. Man bezeichnet sie im ersteren Falle als unmittelbare, im letzteren als mittelbare Kontaktlagerstätten.

Aus dieser Entstehung ergibt sich für den Beurteiler, daß Kontaktlagerstätten hauptsächlich an der Grenze des Eruptivgesteins zu finden, immer aber auf den Kontakthof beschränkt sind. Das Erkennen der Kontaktwirkungen des Nebengesteins ist also von großer Wichtigkeit für die Verfolgung derartiger Vorkommen. Die Kontaktlagerstätten sind meist an Kalke gebunden, welche durch die kontaktmetamorphe Einwirkung teilweise zu kristallinem Marmor, zum geringen Teile schließlich auf metamorphem Wege in Erzlagerstätten umgewandelt wurden. Bei diesem Vorkommen finden wir neben den Erzen Granat, Epidot, hellgefärbte Pyroxene, Augite, Vesuvian u. s. w.

Die typischen Kontaktmineralien im Schiefer dagegen sind Andalusit und Chiastolith.

Die Kontaktwirkung ist naturgemäß umso intensiver, je näher der betreffende Punkt dem Eruptivgestein liegt.

Die Neubildungen, welche man als Kontaktmineralien bezeichnet, sind typisch für die Kontakterzlagerstätten und spielen bei ihnen eine ähnliche Rolle, wie die Leitfossilien in den geologischen Schichten.

Es ist freilich in Betracht zu ziehen, daß bei der Regionalmetamorphose, d. h. bei jenem Vorgange in unserer Erdrinde, bei dem eine Umkristallisation der Gesteine infolge des Gebirgsdruckes stattfindet, ähnliche Mineralbildungen beobachtet werden. Infolgedessen ist es nicht immer leicht, festzustellen, ob eine Erzlagerstätte durch Kontaktmetamorphose gebildet wurde, oder ob eine Umwandlung einer früher vorhandenen durch regionalmetamorphe Einwirkungen vorliegt.

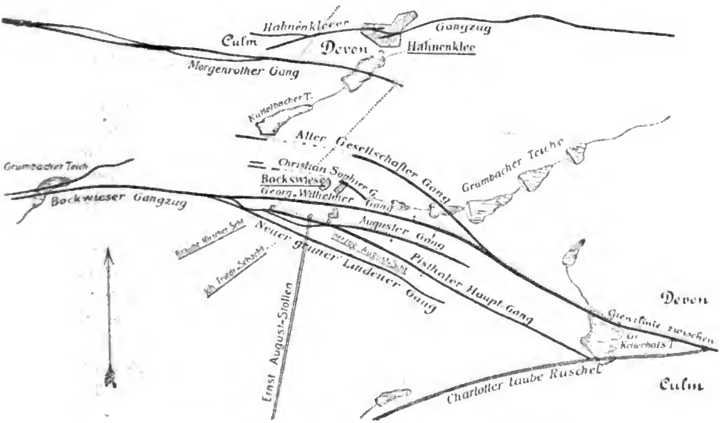
Die Form der Kontakterzlagerstätten ist die einer Linse oder eines Erzstockes. Da in der Regel der Kalk metasomatisch verdrängt worden ist, ist sie stets

unregelmäßig, und es ist notwendig, den Erzkörper, sei es durch Treiben von Strecken oder durch Bohrungen nach allen Richtungen zu durchfahren, ehe die Erzberechnung vorgenommen werden kann.

Gänge und metasomatische Lagerstätten.

Unter Gängen versteht man Ausfüllungen von häufig zu Zügen angeordneten und oft zu gleicher Zeit Verwerfungen darstellenden Spalten, welche von mehr oder weniger bemerkenswerten Imprägnationszonen begleitet sein können.

Fig. 168.



Der Bockswieser Gangzug. (Maier. Z. f. pr. Geol. 1901 S. 195.)

Metasomatisch nennt man ein Vorkommen, bei dem durch Minerallösungen eine Ersetzung eines unwandelbaren Gesteins — in der Regel des Kalkes oder Dolomites — derart stattgefunden hat, daß ein winzig kleines Partikelchen, z. B. des Kalkes, aufgelöst und an seiner Stelle ein Partikel Erz abgelagert wird.

Da die Minerallösungen meist in Spalten in der Erdrinde zirkulieren und die Ausfüllungen derartiger Spalten die Erzgänge darstellen, stehen die metasomatischen Lagerstätten in innigster Verbindung mit den Erzgängen.

Den Vorgang der Bildung der metasomatischen Lagerstätten kann man sich also im großen und ganzen so vorstellen, daß ein Spaltensystem Mineral-

lösungen führt, diese Minerallösungen Kalk und Dolomit zum Teil auflösen, einen Teil des Kalkes von den Klüften aus direkt in Erz umwandeln und schließlich sowohl die ausgelaugten Hohlräume, als auch die Spalten ausfüllen. Die Folge dieser ganz allmählichen Umwandlung ist häufig die Erhaltung der Struktur des ursprünglichen Gesteins. Es ist also derselbe Vorgang, den man bei der Bildung der Pseudomorphosen von Mineralien kennt.

Infolge der engen Beziehung, welche zwischen der Entstehung der Gänge und der Entstehung der metamorphischen Lagerstätten besteht, empfiehlt es sich, in der Praxis beide Gruppen zusammenzufassen.

In derselben Bruchzone kann man in nicht auflösbarem Gestein einfache Erzgänge, in Kalkkomplexen dagegen, welche mit den ersteren wechsellagern, metasomatische Lagerstätten finden.

Das allgemeine Verhalten der Gänge ist von einer so außerordentlichen Mannigfaltigkeit, daß man nicht von einem Gange auf einen anderen desselben Gebietes, oder gar von einem Ganggebiete auf ein Nachbargebiet schließen darf. Diese Mannigfaltigkeit geht so weit, daß gleichaltrige Gänge desselben Gebietes, die in gleichen Gesteinen aufsetzen, sich ganz verschiedenartig verhalten können. Es kann nicht dringend genug dazu ermahnt werden, jedes einzelne Gangvorkommnis individuell zu betrachten, wenn auch nicht zu verkennen ist, daß recht häufig bei den Gängen ein und desselben Ganggebietes die gleichen Erfahrungen in Bezug auf Erzfolge in der Tiefe u. s. w. gemacht werden.

Aus der großen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen sind folgende besonders beachtenswert: Es ist nicht immer möglich, aus der Beschaffenheit der Gangausfüllungen am Ausgehenden auf den Gang in größerer Tiefe zu schließen, denn Gänge, die in ihren oberen Teufen an edlen Erzen reich sind, können nach der Tiefe hin verarmen und nur noch geringwertige führen. Es ist davor zu warnen, aus der sich gleichbleibenden Beschaffenheit eines Ganges in einem Gestein auf sein Verhalten in denjenigen Teilen zu schließen, die in einem anderen Nebengestein aufsetzen. Es können Gänge, die in ihren oberen Teilen erzführend sind, nach der Teufe zu vollkommen taub werden, es kann aber auch der umgekehrte Fall eintreten, daß ein oben tauber Gang sich nach unten veredelt. Nicht alle Gänge setzen einerseits in die ewige Tiefe fort oder kommen anderseits an die Oberfläche. Gänge, welche schon in geringer Tiefe ihr Ende erreichen, nennt man „Rasenläufer".

Über die streichende Erstreckung der Gänge gibt es ebenso wie über die Fortsetzung in die Tiefe keine Regel. Indessen kann als allgemein gültig angesehen werden, *daß zu einer großen streichenden Erstreckung einer Gangspalte auch in der Regel eine größere Erstreckung in die Tiefe gehört.*

Es ist eine Seltenheit, daß die tektonisch bedeutsamsten Spalten, welche

den Bau ganzer Gebirge beeinflussen, erzführend sind, wohl aber kommt es sehr häufig vor, daß die kleineren, ihnen parallel aufgerissenen, auf die gleichen tektonischen Ursachen zurückführbaren Nebenspalten eine Erzführung besitzen.

Bei den Gängen, welche von den verschiedensten Erzen ausgefüllt sein können, war die Ausscheidung der Mineralien in den verschiedenen Teilen der Spalten, namentlich infolge des Schwankens des Druckes und der Temperatur, häufig eine ungleiche; man bezeichnet diese Verschiedenheit als primäre Teufenunterschiede.

Beachtenswert ist das Wiederaufreißen der Gangspalten, durch welche zu verschiedenen Zeiten verschiedene Erze und Gangarten auf demselben Gange auskristallisieren können.

Die Form der Gänge ist mehr oder weniger die einer Platte (siehe Fig. 169).

Es sind die einfachen von den zusammengesetzten zu unterscheiden. Einfache Gänge stellen die Ausfüllung einer Spalte, also eines mehr oder weniger offenstehenden Hohlraumes dar. Die zusammengesetzten Gänge sind im Gegensatz hierzu dadurch entstanden, daß nach dem Aufreißen einer Spalte die Schichten im Hangenden hereinbrachen und auf diese Weise eine breite Störungszone entstand, die im Liegenden häufig mit einem scharfen Salband gegen das Nebengestein abgegrenzt ist, während sie im Hangenden allmählich in die ungestörten Schichten übergeht. In diesem Falle haben die Minerallösungen die Hohlräume zwischen den Nebengesteinsschollen ausgefüllt, und es wechseln deshalb in querschlägiger Richtung im Gange mehr oder weniger mächtige Erztrümer mit Nebengesteinsbruchstücken oder -schollen ab. Man bezeichnet derartige Gänge als zusammengesetzte Gänge im Sinne v. Cottas oder Naumanns.

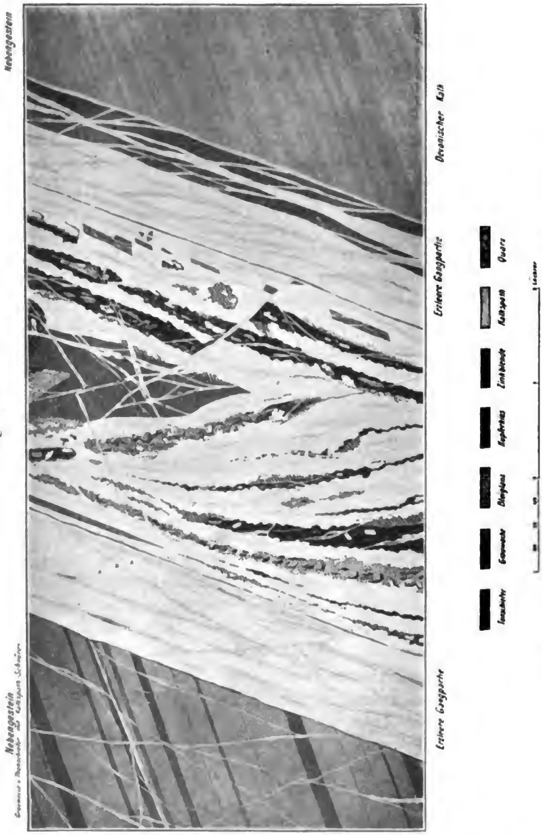
Nicht weniger wichtig ist die zweite Gruppe der zusammengesetzten Gänge, welche aus einem System wenig mächtiger Spalten bestehen, zwischen denen das Nebengestein mehr oder weniger intensiv mit Erzen imprägniert und durch Gangarten metasomatisch ersetzt ist. Es ist häufig zweifelhaft, ob derartige Störungszonen bei den tektonischen Vorgängen durch Auseinanderzerrung oder Zusammenpressung der Gesteinsschichten entstanden sind. In allen Fällen handelt es sich aber in der Hauptsache um Mineralisationszonen, bei denen die Spaltenausfüllung die geringere Rolle spielt; die Hauptmasse der Erze gehört den Imprägnationszonen an, in welchen die metasomatischen Vorgänge häufig eine größere Rolle spielen. Das zwischen den Gangspalten liegende Nebengestein ist mitunter derartig vollkommen verquarzt, daß größere einheitliche Quarzkörper entstehen [1]).

Die Mächtigkeit der einfachen Gänge wird durch die senkrechte Entfernung der beiden Salbänder bestimmt. Bei den zusammengesetzten

[1]) Siehe P. Krusch, Z. f. pr. Geol., Jahrg. XI, 1903, S. 323.

Gängen handelt es sich entweder im Hangenden oder auch im Liegenden um einen allmählichen Übergang einer Imprägnationszone in normales Gestein.

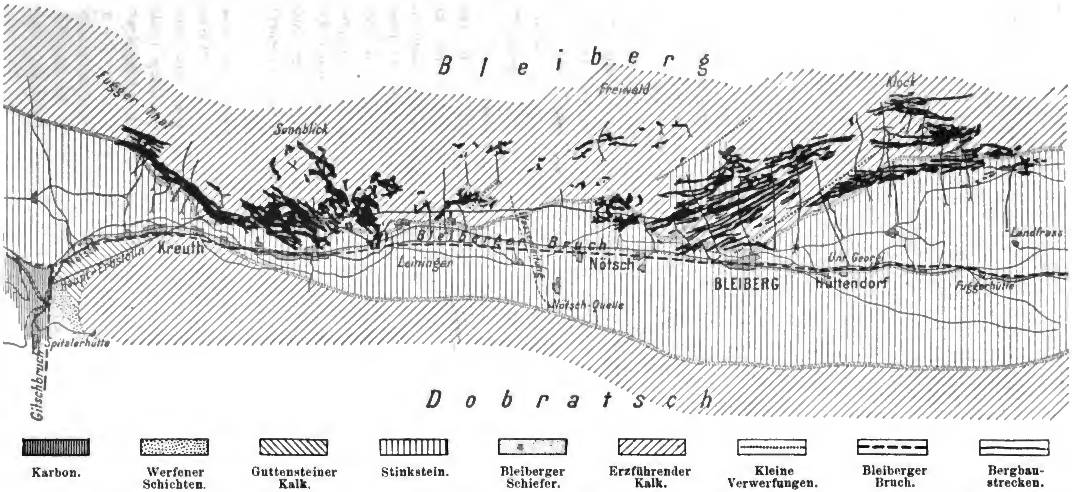
Fig. 169.



Querprofil eines Erzganges. Lautenthalsglücker Gangzug. Niveau der 9. Feldortsstrecke.

Während bei den einfachen Gängen die Gangmächtigkeit in der Regel kaum mehr als 1 m beträgt, ist diejenige der zusammengesetzten Gänge viel bedeutender und erreicht nicht selten mehr als 100 m.

Fig. 170.



Geologische Übersichtskarte des Bleiberger Erzreviers. Bleiberger Bruch mit den metasomatischen Erzlagerstätten. (Hupfeld. Z. f. pr. Geol. 1897 S. 237.)

Die Folge des Fehlens scharfer Grenzen bei den zusammengesetzten Gängen ist die Ursache von Fehlerquellen bei der Angabe der Gangmächtigkeit. Im allgemeinen richtet man sich bei Edelmetallen nach den Bauwürdigkeitsgrenzen und rechnet den Teil der Imprägnationszone noch zur Gangmasse, der nach dem jeweiligen Stande der Bergbau- und Hüttenkunde und der Verkehrsverhältnisse eben noch bauwürdig ist. Es liegt also hier der Fall vor, daß sich die Mächtigkeit der Gänge mit dem Fortschritte der Hüttenkunde und den Verbesserungen der Verkehrsverhältnisse vergrößert.

Fig. 171.



Metasomatische Erze im Kalk, den Schichtflächen und Kluftsystemen folgend. (Hupfeld. Z. f. pr. Geol. 1897 S. 240.)

In Bezug auf das Streichen der Gänge müssen die Quergänge von den Lagergängen unterschieden werden. Die größte Zahl der Gänge gehört zur erstgenannten Gruppe, welche die Gesteinsschichten unter mehr oder weniger großem Winkel durchschneidet. Die Lagergänge stimmen im Gegensatz zu den Quergängen im Streichen und im Fallen mit den Nebengesteinsschichten überein, unterscheiden sich aber von den die gleichen Eigenschaften zeigenden Erzlagern dadurch, daß ihre Ausfüllung jünger als das hangende Nebengestein ist.

Da metasomatische Lagerstätten nur möglich sind, wenn das Nebengestein leicht auflösbar ist (vorzugsweise Kalke und Dolomite) so verlieren die Mutterspalten derartiger Vorkommen gewöhnlich die regelmäßige Form; es entstehen dann in Verbindung mit den Gängen, abgesehen von den metasomatischen Lagerstätten, Ausfüllungen unregelmäßiger Hohlräume.

Die Form dieser Erzlagerstättengruppe muß nach der Genesis eine unregelmäßige sein. In der Regel hat man eine Fülle von kleineren und größeren Erzkörpern (siehe Fig. 170 u. 171),

welche scheinbar ganz unregelmäßig in dem Kalk verteilt sind. Für den Prospektor ist es daher von der größten Wichtigkeit, daß er ihre Beziehung zu den Bruchzonen kennt (siehe Fig. 170); und der einzig gangbare Weg bei der Verfolgung metasomatischer Lagerstätten ist die Festlegung dieser Störungszonen.

Man muß außerdem durch Schürfarbeiten feststellen, bis zu welcher Entfernung von der Bruchzone noch metasomatische Lagerstätten vorkommen. Sind z. B. auf der einen Seite der Bruchzone widerstandsfähige Gesteine, auf der anderen dagegen leicht auflösbare, so sind die Erzlagerstätten auf die letzteren beschränkt.

Handelt es sich also um die Begrenzung eines Konzessionsgebietes, so wird man naturgemäß diesen Gesichtspunkten Rechnung tragen und das Feld an der Bruchzone entlang im auflösbaren Gestein strecken (siehe Fig. 170).

Lager und Imprägnationszonen.

Die Lager bieten, ähnlich wie die einfachen Gänge, in Bezug auf die Form wenig Schwierigkeiten. Während die Gänge Höhlenfüllungen darstellen, welche in der Regel das Nebengestein unter beliebigen Winkeln durchsetzen können, ist das Lager konkordant den Gesteinsschichten eingelagert, jünger als das Liegende und älter als das Hangende. Die Entstehung des Lagers ist dieselbe wie die irgend einer Gesteinsschicht; beide bilden in der Regel einen Absatz aus dem Meere, welcher im allgemeinen linsenförmige Gestalt hat, d. h. nach allen Richtungen allmählich auskeilt.

Selten ist ein Lager gleichmäßig zusammengesetzt, besteht also lediglich aus Erz; meist vertreten sich Erz und Gestein. Es kann auch der Fall eintreten, daß bei der Verfestigung des noch weichen Gesteins eine Konzentration gewisser Erze an geeigneten Stellen stattfand und dadurch eine Schicht gebildet wurde, welche mit einer Imprägnationszone große Ähnlichkeit hat.

Ein allgemeines Gesetz über die Ausdehnung der Lager gibt es nicht. Man kennt Lager von Dimensionen, welche sich über größere Verwaltungsbezirke erstrecken, bis zu solchen, die man als Nest bezeichnet. Der Vorteil des ursprünglich horizontal abgelagerten, aber später häufig aufgerichteten Lagers ist unstreitig der, daß man häufig nicht nur auf Gleichmäßigkeit in der Ausdehnung im Streichen und Fallen, sondern auch in der Zusammensetzung rechnen kann. Die Folge davon ist, daß Erzlager verhältnismäßig leicht zu beurteilen sind und

die Vorratsberechnung gewöhnlich keinen größeren Schwierigkeiten begegnet.

Die Seifen und Trümmerlagerstätten. Ein prinzipieller Unterschied zwischen den Seifen, Trümmerlagerstätten und Lagern besteht nicht. Eine Seife wird durch die Zertrümmerung der primären Lagerstätten gebildet. Der Unterschied zwischen Trümmererzlager und Seife kann dann lediglich der sein, daß das Erzlager infolge eines höheren geologischen Alters nachträglich verfestigt und von jüngeren Schichten bedeckt wurde, während die Seifen höchstens tertiäres Alter haben und im allgemeinen lose Oberflächenbildungen darstellen.

Während nach dem Sprachgebrauch gewöhnlich nur von „alluvialen“ Seifen die Rede ist, müssen nach der Genesis eluviale, fluviatile und marine Seifen unterschieden werden.

Eluviale Seifen sind solche, bei denen nach der Zertrümmerung der primären Lagerstätten in Gebieten, wo Niederschläge selten sind, nach und nach die leichteren Bestandteile durch gelegentliche Niederschläge forttransportiert wurden, so daß die schwereren Erze an Ort und Stelle allmählich eine nutzbare Lagerstätte bildeten. Man kann diesen Vorgang z. B. bei Chromerz, Eisenerz und Zinnerz beobachten.

Bei der Bildung von fluviatilen und marinen Seifen dagegen bemächtigt sich das Wasser der Zertrümmerungsprodukte der primären Lagerstätten derart, daß es das ganze Material die Berggehänge abwärts in die Flußläufe bezw. das Meer bewegt; das Wasser trennt die einzelnen Bestandteile nach dem spezifischen Gewicht, und es bilden sich auf diese Weise infolge der natürlichen Aufbereitung Geröll-, Sand-, Lehm- oder Tonschichten, welche infolge ihres Gehaltes an nutzbaren Mineralien abbauwürdig sein können.

Die fluviatilen Seifen unterscheidet man nach dem geologischen Alter in alluviale, diluviale oder tertiäre. Alle erstrecken sich entlang den Flußläufen; während aber die alluvialen sich annähernd im Niveau des heutigen Wasserspiegels befinden, können die diluvialen oder tertiären als Produkte der Ablagerung eines früheren Stadiums des Taleinschnittes hoch über dem heutigen Wasserspiegel und deshalb trocken liegen.

Nicht alle Schichten der Seifen brauchen einen bauwürdigen Metallgehalt zu haben. Es kommt häufig vor, daß z. B. die zuunterst, also auf dem anstehenden Gestein liegende am reichsten ist, während eine bis mehrere Meter mächtige Decke so gut wie kein Edelmetall enthält.

Es ist auch nicht notwendig, daß die ganze Seife aus losen Massen besteht; man findet vielmehr häufiger eine Verkittung der Bestandteile durch ein Bindemittel, welches seine Entstehung meist der Zirkulation der Tagewässer, d. h. also schwacher Minerallösungen verdankt.

Es gibt kein äußerliches Erkennungszeichen, ob eine Ablagerung des

fließenden Wassers Erze oder Metalle enthält oder nicht, wohl aber kann man bei der Untersuchung solcher Gebilde solche Punkte aufsuchen, auf denen von vornherein eine Anreicherung der etwa vorhandenen Erze mit Sicherheit zu erwarten ist; denn da bei dem Transport des Materials im fließenden Wasser eine natürliche Aufbereitung nach Korngröße und spezifischem Gewicht eintritt, so ist es selbstverständlich, daß die so außerordentlich schweren edlen Metalle und Erze an bestimmten hierzu günstigen Stellen eine ganz besondere Anreicherung erfahren müssen. Solche günstigen Punkte, die zur näheren Untersuchung in erster Linie geeignet sind, sind die folgenden: 1. Diejenigen Stellen, wo die Talsohle aus stärkerem Gefälle plötzlich in ein geringeres übergeht, also z. B. Stellen, an denen ein harter Querriegel das Tal durchsetzt und das Wasser aufstaut, oder eine Erweiterung des Tales zu einer Verlangsamung der Strömung führt, oder wo das Tal sich plötzlich stark zusammenzieht. 2. Solche Stellen, an denen mehrere Täler zusammenstoßen, vorausgesetzt, daß die Lagerstätten, denen die Seifen entstammen, im Gebiete dieser Täler aufsetzen. 3. Unter Wasserfällen und überhaupt an den Stellen, an denen eine sehr starke Strömung eine kräftige Sonderung bewirkt. 4. Diejenigen Stellen, wo eine Lagerstätte den Lauf der Gewässer quert. 5. Ein reicherer Gehalt ist häufig in den untersten Schichten der Flußanschwemmung, unmittelbar auf dem Untergrunde (Bedrock) zu erwarten. 6. Ganz besonders günstig sind die Fälle, in denen dieser Untergrund eine unebene Oberfläche besitzt oder von Spalten und Klüften durchzogen ist, in denen die niedergesunkenen schweren Stücke vor weiterem Transport geschützt waren. Auf solche Stellen hat man also die Aufmerksamkeit zu richten und durch Aufgrabungen oder Bohrungen Proben zur Untersuchung zu entnehmen.

Die Goldseifen.

Seifen bilden vorzugsweise Gold, Platin und Zinnstein. Da die Goldseifen die verbreitetsten sind, sollen die bei der Beurteilung der Seifen zu beobachtenden Gesichtspunkte an ihnen erläutert werden.

a) Auftreten und Entstehung. Die Seifen entstanden, wie oben gezeigt wurde, durch die Zertrümmerung der primären Lagerstätten, vorzugsweise der Gänge.

Von den verschiedenen Arten der Seifen spielen die eluvialen beim Golde so gut wie keine Rolle.

Gewöhnlich findet man in einem neuen Golddistrikt zuerst die Goldseifen und bei der Verfolgung der letzteren erst die Goldgänge. Die ersteren sind in der Regel an die Flußläufe gebunden, brauchen aber keineswegs den jüngsten Ablagerungen derselben anzugehören, sondern können ältere trockene Terrassen darstellen, in welche sich später der Fluß das Bett tiefer eingrub.

Die Entstehung der fluviatilen Seifen als Transport- und Aufbereitungsprodukte des fließenden Wassers bedingt also, daß sich die Goldlagerstätten in der Regel entlang den Flüssen ziehen, und man ist deshalb gewöhnt, in Goldseifengebieten die Felder in dieser Richtung zu strecken.

Daß es aber auch Ausnahmen gibt, beweisen die Goldseifen von Britisch-Guyana, welche sich interessanterweise quer über den Flußlauf hinwegstrecken. Sie haben eine ganz andere Entstehung als die typischen Seifen, denn sie wurden dadurch gebildet, daß die am Talgehänge unter Ton ausgehenden Goldquarzgänge zusammenbrachen und ihre Bruchstücke im Ton infolge der Gehängerutschung den Bergabhang hinab- und quer durch das Flußbett hindurchgeschoben wurden. Dies Beispiel beweist, daß man auch bei der Beurteilung der Goldseifen und ihrer Verbreitung kritisch vorgehen muß.

In den letzten Jahren sind größere marine Seifen am Cape Nome und in Neuseeland bekannt geworden. An der Westküste von Alaska findet man am Meeresstrande Gold im Meeressande in recht erheblicher Menge; es handelt sich hier wohl zweifellos um ehemaliges Seifengold, welches von den in das Meer einmündenden Flüssen zugeführt, von der Brandung nochmals aufbereitet und am Meeresrande abgelagert wurde. Prüft man dieses Gold mit bloßem Auge genauer, so machen die einzelnen Partikelchen einen zerfressenen Eindruck. Unter dem Mikroskop findet man im Vergleich zu dem fluviatilen Golde den Unterschied, daß die einzelnen kleinen Geröllchen durch tiefe Kanäle und Narben zergliedert sind. Das Meereswasser, welches eine verdünnte Salzlösung darstellt, dürfte das Flußgold angeätzt und einen Teil desselben aufgelöst haben.

Bei den Goldseifen ist nicht immer die ganze Schicht goldhaltig. In der Regel handelt es sich nur um eine verhältnismäßig schmale Lage mit einer mächtigeren goldfreien Decke. — Das Profil der Goldseife besteht nicht immer aus losen Massen; Lehm kann mit Geröllschichten abwechseln. Gold im Bedrock ist häufig (siehe S. 363).

Das Gold braucht auch nicht immer an Sand- oder Geröllschichten gebunden zu sein, sondern kann im Lehm oder Ton auftreten. Diesem Moment muß bei der Beurteilung der Goldseifen Rechnung getragen werden.

Da man im allgemeinen bei Goldseifen den schnell arbeitenden Bagger anwendet, und der Entgoldungsprozeß, welcher darauf beruht, daß fast alle Partikelchen der Seife mit dem betreffenden Goldlösungsmittel in Berührung kommen, nur ein einfacher und billiger sein kann, bereiten die lehmigen und tonigen Goldseifen häufig große Schwierigkeiten und können gewöhnlich nicht nach den Gesichtspunkten typischer Goldseifen beurteilt werden.

Für verfestigte Seifen gelten dieselben Regeln wie für primäre Konglomerate. — Die im folgenden aufgeführten Gesichtspunkte beziehen sich nur auf die Fälle, wo die Goldseifen aus mehr oder weniger losem Geröllmaterial bestehen.

b) Erze und Begleitmineralien. Das hauptsächlichste Erz der Goldseife ist das Freigold, welches in abgerollten Fragmenten in sogenannten Nuggets auftritt.

Während der größte Teil des Goldes zweifellos aus zerstörten primären Lagerstätten stammt, läßt sich häufiger der Nachweis führen, daß ein kleiner Teil des Edelmetalls Neubildung in den Seifen darstellt, also von goldhaltigen Lösungen abgesetzt wurde.

Die Größe der Nuggets ist mitunter eine ganz erhebliche. Es kommt Freigold hier in Dimensionen vor, wie wir sie bei anstehenden Lagerstätten bis jetzt nicht kennen; entweder handelt es sich in diesen Fällen um ein späteres Wachstum der Goldfragmente in der Seife durch verdünnte Goldlösungen, oder um die Zerstörung reicherer Zementationszonen, als heute vom Bergbau ausgebeutet werden.

Charakteristische Begleitmineralien hat das Freigold nicht. Da alle Bestandteile der Seife Zerstörungsprodukte anderer Gesteine sind, richten sich die Gemengteile der Seife nach der jeweiligen Zusammensetzung des zerstörten Gesteins. Immer aber werden mit dem Gold zusammen Mineralien von hohem spezifischem Gewicht auftreten.

c) Metallgehalte u. s. w. Die Metallgehalte bauwürdiger Seifen können unter günstigen Umständen außerordentlich niedrig sein. Ist die Lage einer solchen Goldseife günstig, so ist es, dank der Vervollkommnung unserer Baggermaschinen, möglich, Seifen, welche nur einen geringen Teil eines Grammes im Kubikmeter enthalten, noch mit Vorteil zu verarbeiten.

Der idealste Fall dürfte der sein, daß der Bagger die Seife aus dem Flusse herausnimmt, auf den Entgoldungsapparat bringt und die entgoldeten Massen wieder an dieselbe Stelle legt, wo er die Seife hernahm.

Die geographische Lage, Arbeiter- und Brennmaterialverhältnisse spielen eine ähnliche Rolle wie bei den übrigen Goldlagerstätten[1]). Die Wasserverhältnisse kommen aber vor allen Dingen in Frage. Von ihnen hängt, der nötige Erzvorrat vorausgesetzt, die Bauwürdigkeit einer Seife in hohem Grade ab. Eine sorgfältige Untersuchung der Wasserkraft und eine genaue Erwägung ihrer vollkommensten Ausnützung sind von der größten Wichtigkeit für die Rentabilität.

d) Erfahrungen über sekundäre und primäre Teufenunterschiede gibt es nur insofern, als die unterste Lage meist die reichste ist.

---

[1]) Siehe Krusch, a. a. O.

e) Bestimmung des Goldgehaltes und Probenahme. Das in den Seifen auftretende Gold ist, da es zum großen Teil aus den Zementationszonen der primären Goldlagerstätten stammt und hier chemisch konzentriert wurde, reiner als das auf den primären Goldlagerstätten auftretende vererzte Gold; trotzdem muß bei der Beurteilung der Goldseifen die Feinheit des Goldes festgestellt werden.

Da die Goldgehalte der Seifen nur minimale sind und selbst ein geringer Fehler bei der Probe durch die Multiplikation mit großen Zahlen erheblich wird, muß die Probe außerordentlich sorgfältig genommen werden.

Drei Methoden kann man anwenden:

1. Man steche aus größeren Gruben, die zu irgendwelchen Zwecken hergestellt wurden, ein Profil von regelmäßigem Querschnitt, z. B. quadratisch, aus dem Stoß vom Hangenden bis zum Liegenden der Seife.

Führt nur eine bestimmte Schicht Gold, so werden die Deckschichten und das goldführende Material getrennt behandelt.

Die Probe sammelt man am besten auf einem weißen Tuche und stellt sich einen möglichst sorgfältigen großen Durchschnitt her.

2. Probe vermittels eines Loches. Hierbei bekommt man aber nur ein sorgfältiges Durchschnittsresultat, wenn man ängstlich darauf sieht, daß der Querschnitt des Loches von oben nach unten der gleiche ist. Da eine Grube mit kleinerem Querschnitt nach unten zu immer spitzer wird, muß diesem Umstande besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Man erweitert daher von Zeit zu Zeit von oben her, ohne die Erweiterungsmasse zu benutzen.

Nur bei gleichem Querschnitt hat man die Gewähr, eine Durchschnittsprobe zu bekommen. Auch bei dieser Probenahme muß, da gewöhnlich nur eine Schicht Gold führt, das Hangende von der Goldseife getrennt werden.

3. Liegt die ganze Seife unter Wasser, oder ist der Grundwasserspiegel so hoch, daß man nicht bis zum Liegenden der Goldseife mit den genannten Methoden kommen kann, weil z. B. die Wände der Grube einstürzen, so bleibt nichts weiter übrig, als mit den einfachsten Bohrapparaten (mit Verrohrung) mit großem Querschnitt, womöglich 20—30 cm, die Schichten zu durchbohren und das gewonnene Material sorgfältig aufzuhäufen.

Bei 1—3 wird durch Herunterviertelu ein transportierbarer Durchschnitt gewonnen.

In den Fällen, wo es sich um den Ankauf einer Goldseife handelt, muß der betreffende Prospektor mit viel größerem Argwohn als bei primären Goldlagerstätten vorgehen. Da nur minimale Goldgehalte bei Goldseifen in Frage kommen, halte ich die Nähe des Verkäufers oder eines seiner

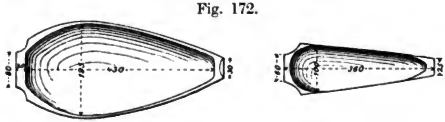
Angestellten oder Arbeiters bei der Probenahme für gewagt. Es genügen Goldkörnchen, die unter den Fingernägeln der betreffenden Personen sind, um durch Beimischung eine minderwertige Goldseife mit minimalem Goldgehalt zu einer anscheinend bauwürdigen Lagerstätte zu stempeln. Ebenso ist es zu vermeiden, daß die Stellen der Probenahme vorher dem *Verkäufer bekannt sind. Am besten nimmt der Experte an der Hand eines guten Lageplans die Probe ohne Kenntnis des Verkäufers mit Hilfe eines zuverlässigen Mannes, der nicht einmal zu wissen braucht, worum es sich handelt.*

Die Anwendung von gewöhnlichen Säcken ist, wie überhaupt bei Goldproben, ebenfalls zu vermeiden, da nicht selten der Fall vorkommt, daß in Proben, welche kurze Zeit unbeaufsichtigt stehen, entweder mit einer Spritze oder mit einer Pistole feine Goldteilchen künstlich hineingebracht werden. Am besten sind nach meiner Erfahrung Blechbüchsen mit einem übergreifenden, hinten *angenieteten* Deckel und mit einem Plombenverschluß, welcher mit einer gezeichneten Zange hergestellt wird, die nur einmal vorhanden ist.

Die vorläufige Untersuchung an Ort und Stelle selbst erfolgt durch Auswaschen und Sondern nach dem spezifischen Gewichte. Man bedient sich dazu zweckmäßig eines sogenannten Sichertroges, das ist ein flaches, hölzernes Gefäß, auf welchem man die zu untersuchenden Schuttmassen durch Behandlung mit Wasser unter vorsichtigem Stoßen und Bewegen des Gefäßes zu sondern sucht. Man verfährt dabei in folgender Weise:

Man bringt die durch Auswaschen von den tonigen und durch Sieben von den groben Bestandteilen befreite Seifenprobe auf das obere breite Ende eines sich nach unten verjüngenden muldenförmigen Sichertroges

Fig. 172.



(Fig. 172) von etwa 40 cm Länge, 10 cm oberer und 5 cm unterer Breite und 3 cm Vertiefung. Für Golderze wählt man für den Trog wohl noch geringere Ausmaße, wie sie in Figur 172 rechts dargestellt sind. Das Gemenge von Sand und Erz wird mit Wasser angerührt, und sodann ununterbrochen Wasser in dünnem Strahle zugeleitet. Dabei faßt man das schmale Ende des Troges mit der linken Hand, neigt den Trog etwas nach dem breiteren Ende, gibt mit der rechten Hand an letzteres einen Stoß und hebt dieses gleichzeitig etwas, wobei die leichteren Teile weggespült werden. Man

wiederholt diese Prozedur (Neigen des breiten Endes, Daranklopfen und Heben desselben) so oft, bis die Substanz hinreichend gereinigt und der etwaige Erz- oder Metallgehalt konzentriert ist. Man kann sich auch einer eisernen, muldenförmig vertieften, quadratischen Schaufel von 40 cm Seitenlänge bedienen, indem man die mit Wasser angerührte Probe auf der Schaufel in eine zweifache Bewegung setzt: eine rotierende zum Abschlämmen der leichteren Teile und eine von oben nach unten und von vorn nach hinten gehende, um eine Sonderung der auf der Schaufel noch bleibenden leichteren Teile von den schwereren an verschiedenen Stellen des Troges zu bewirken[1]).

Gelingt es, durch mechanisches Waschen schon Goldkörnchen aus der Seife zu gewinnen, so leistet das Mikroskop unschätzbare Dienste. Legt man die Körnchen unter das Mikroskop, so findet man bei einer normalen unverfälschten Goldseife kleine, mehr oder weniger abgerollte Goldkörnchen von gleicher Farbe. Ist verschiedene Farbe zu konstatieren, vielleicht gelbes und rotes Gold, so ist Vorsicht geboten, denn da ein und derselbe Fluß in der Regel nur Lagerstätten derselben Art zerstört hat, wird die Farbe des Goldes in der Regel in der betreffenden Flußseife eine gleichmäßige sein.

Sind die zur Fälschung benutzten Goldpartikelchen mit der Feile hergestellt, so kann man mit bloßem Auge nur ein feines Pulver erkennen. Unter dem Mikroskop dagegen sieht man genau die Striche der Feile und die Spanform des Edelmetalls. In einem Fall konnte ich den Nachweis führen, daß ein Golddoublégegenstand zur Fälschung benutzt wurde, denn die Späne bestanden auf der Innenseite aus Gold und auf der Außenseite aus Silber. Beim Waschen der mit Spänen verfälschten Probe zeigt sich häufig, daß die Goldteilchen auffälligerweise infolge der festgehaltenen Luft auf dem Wasser schwimmen.

Hereingeschossene Goldpartikelchen zeigen sich unter dem Mikroskop abgeplattet.

Hat man bei diesen Untersuchungen nichts gefunden, was zur Annahme einer Fälschung berechtigt, so muß zur chemischen Untersuchung geschritten werden. Ich empfehle sowohl diejenige auf trockenem Wege durch Schmelzen, als auch die auf nassem Wege, also durch Auslaugen mit Cyankalilösung, und die Entgoldung mit Amalgam.

Bei der chemischen und mikroskopischen Untersuchung der Proben müssen folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden: Da immerhin der Fall vorkommen kann, daß der Boden auf größere Erstreckungen hin mit verdünnten Goldlösungen durchtränkt wurde, ist ein kurzes Ausspülen der Probe mit

[1]) Kerl, Probierkunst, S. 19.

heißem Wasser vor der chemischen Untersuchung von Vorteil. Ergibt das Wasser einen nachweisbaren Goldgehalt, so ist man sicher, daß ein Betrug vorliegt.

Bei dem Schmelzen (es sind 300 g zu nehmen) erhält man den gesamten Goldgehalt, dieser hat aber nur einen theoretischen Wert, denn bei den geringen Goldmengen der Goldseifen kann man sich auf komplizierte Verhüttungsprozesse nicht einlassen. Da meistens mit Quecksilber oder Cyankali gearbeitet werden muß, ist zweitens festzustellen, welcher Teil des gesamten Goldgehaltes mit den einfachen Entgoldungsprozessen extrahierbar ist, und nur dieser extrahierbare Teil des Goldes kann der Berechnung zu Grunde gelegt werden.

f) Berechnung und Beurteilung der Seife. Abgesehen von dem Goldgehalt spielt bei den Seifen die petrographische Beschaffenheit und das Profil eine wesentliche Rolle, sobald Großbetriebe in Frage kommen. Wie oben auseinandergesetzt wurde, ist es nicht notwendig, daß das ganze Profil der Seife gediegen Gold führt, häufig liegt vielmehr der goldführende Horizont unter einem mehr oder weniger mächtigen goldfreien. In Alaska wird z. B. die Goldseife von Torf mit 80 Prozent Wasser in bedeutender Mächtigkeit überlagert.

Bei der Massenberechnung können zwei Wege eingeschlagen werden: Man nimmt entweder den durchschnittlichen Goldgehalt des ganzen Profils und berechnet die ganze Seifenmasse, oder man berücksichtigt lediglich die goldführende Schicht mit dem höheren Goldgehalt, darf aber dann nur den Kubikinhalt dieser Schicht zu Grunde legen. Die letztere Berechnung hat den Nachteil, daß bei den Kosten des Baggerbetriebes eine doppelte Berechnung angestellt werden muß, nämlich einmal des Abraums und zweitens der goldführenden Schicht.

Bestehen die hangenden Schichten aus Kies und Sand, so berechnet man am besten die ganze Masse mit dem geringeren Goldgehalt. Liegen über der Goldseife dagegen Torf und dergleichen Schichten, welche einer Behandlung mit Cyankalium ihrer physikalischen und chemischen Beschaffenheit wegen Schwierigkeiten entgegenstellen, so muß man den Abraum besonders in Rechnung ziehen.

In Gegenden, wo große Winterkälte herrscht, wie z. B. im Klondikedistrikt, kann der Fall eintreten, daß der Boden in dieser Jahreszeit bis zu bedeutender Tiefe eine feste Masse bildet. In diesem Fall stören Torf und stark wasserführende Schichten weniger; man gewinnt die Seife im Winter mit Hilfe von kleinen Schächten, die durch die gefrorene Decke abgeteuft werden. Während des Winters wird das Material aufgestapelt und die gewonnene Seife im Sommer verwaschen, wenn der Boden aufgetaut ist.

IV. Methoden der Probenahme.

Besondere Aufmerksamkeit ist auf die Reinheit der Stelle der Probenahme zu verwenden. Viele Erze, z. B. Schwefel- oder Kupferkies, haben die Eigenschaft, auszublühen, d. h. es bilden sich sekundäre metallreiche Mineralien auf der Oberfläche des Stoßes.

Ist diese, durch die Einwirkung des Grubenwassers oder des Pulver- und Dynamitdampfes veranlaßte Zersetzung weiter vorgeschritten und der durchschnittliche Metallgehalt der Erze gering, so können die Neubildungen den Metallgehalt an der betreffenden Stelle wesentlich beeinflussen.

Es bildet sich z. B. mit Vorliebe Kupfervitriol auf kupferarmen Schwefelkiesen. Würde man diesem Umstande keine Rechnung tragen, so erhält man eine kupferreichere Probe, welche, in Anbetracht der geringen Kupfergehalte, die überhaupt im Erz in Frage kommen (z. B. 1,5 oder 1,75 Prozent), das Resultat unbrauchbar macht.

Es empfiehlt sich deshalb mit Wasser oder einer Stahlbürste die Stelle der Probenahme abzubürsten.

Dringend wünschenswert ist es, daß man die Stellen der Probenahme auf Grubenplänen, am besten mit laufenden Nummern versehen, einträgt.

Zunächst empfiehlt es sich, bei ausgedehnteren Gruben von jeder Sohle einen besonderen Grundriß (Horizontalschnitt) zu benutzen und außerdem sämtliche Proben, soweit es möglich ist, auf einen oder mehrere flache Risse (Ebene der Lagerstätte, also parallel zum Streichen und Fallen) aufzutragen.

Nur so ist es möglich, ein zuverlässiges Bild von der Metallverteilung in der Lagerstätte zu bekommen und vor allen Dingen sogenannte Erzfälle (Anreicherungszonen im Einfallen der Lagerstättenebene) zu erkennen.

Man verwahrt das Probematerial je nach dem Metall in gewöhnlichen oder Ledersäcken oder in Blechbüchsen und legt am besten auf die Probe eine mit einer Nummer versehene Metallmarke. Papierzettel eignen sich deshalb weniger, weil die Erze meist grubenfeucht sind und die Schrift auf den Zetteln leicht unleserlich wird.

Hat man aber nur Papier zur Verfügung, so klemmt man es am besten zwischen die Falten des Sackes an der Stelle, wo er zugebunden wird.

Die Entfernungen, in denen man die Probe nimmt, richten sich erstens nach dem Werte des betreffenden Erzes und zweitens nach der Art seiner Verteilung in der Lagerstätte. Je höher der Wert ist und je unregelmäßiger die Metallgehalte sind, desto näher müssen die einzelnen Stellen der Probenahme liegen.

Bei Gold-, Quecksilber- und Zinnlagerstätten z. B. muß man häufig alle 2 oder 3 Fuß den Metallgehalt prüfen, während bei regelmäßigen

Eisenerzlagerstätten größere Entfernungen von mehreren Metern zulässig sind.

Die Resultate der Untersuchung werden ebenfalls auf die sogenannten Probepläne eingetragen.

Es lassen sich folgende Arten der Probenahme unterscheiden:

a) Die Pick- oder Schlitzprobe. Der Ruf dieser Probe ist in manchen Bergwerksdistrikten kein guter; trotzdem habe ich die Erfahrung gemacht, daß man bei sorgfältiger Probenahme vorzügliche Resultate erzielt.

Das Wesen der Pickprobe besteht darin, daß ein gleich breiter und vor allen Dingen gleich tiefer Streifen über die ganze Mächtigkeit der Lagerstätte oder einen Teil derselben genommen wird. Es gehören im allgemeinen drei Mann zur Probenahme, einer, welcher mit Schlegel und Eisen den Streifen nimmt, ein zweiter, welcher — z. B. in einem Hut — die losgeschlagenen Stücke auffängt, und schließlich ein Aufsichtführender, in der Regel also der Gutachter, der sorgfältig darauf sieht, daß die Breite und Tiefe der Probe über die ganze Probenlänge möglichst die gleiche bleibt.

Lösen sich größere Stücke, ohne daß man es will, los, so schlägt man von ihnen die zum Probestreifen gehörende Stelle ab und fügt nur diese dem Muster bei.

Ist es nicht möglich, die Probe über die ganze Mächtigkeit zu bekommen, so nimmt man sie soweit wie möglich, berücksichtigt aber dabei, daß nur die Flächen ausgesucht werden, welche annähernd rechtwinklig zum Einfallen verlaufen, also Teile der Mächtigkeit darstellen. Bei einem zackigen Stoß sind demnach alle Flächen wegzulassen, welche parallel den Lagerstättengrenzen gehen.

Die Länge der Probestelle ist stets zu messen. — Verläuft die Stelle der Probenahme geneigt zur Mächtigkeit, so sind zwei Maße anzugeben, nämlich die Länge und die aus ihr sich ergebende Mächtigkeit.

Bei sehr mächtigen Lagerstätten empfiehlt es sich, die Mächtigkeit zu teilen und von jedem Teile eine Probe zu nehmen.

Die Stellen, bei denen nur ein Teil der Gesamtmächtigkeit zugänglich war, sind auf den Probeplänen mit entsprechenden Bemerkungen zu versehen, denn je nach der Verteilung des Metallgehaltes kann man hier — in Bezug auf die ganze Mächtigkeit der Lagerstätte — bald ein zu hohes, bald ein zu niedriges Resultat erhalten.

Im allgemeinen wird man bei dieser Art der Probenahme, obgleich häufig ein Streifen von z. B. 15 cm Breite und 3 cm Tiefe genügt, viel mehr Material bekommen, als für die chemische Untersuchung notwendig ist. Es empfiehlt sich daher, die ganze Probe auf eine reine Eisenplatte zu bringen, mit dem Hammer in gleichmäßige, möglichst kleine Stücke zu zerkleinern, durcheinander zu mengen und herunterzuvierteln.

Man formt zu diesem Zweck einen abgestumpften Kegel, welcher mit der Schippe in vier Quadranten geteilt wird, von denen zwei gegenüberliegende herausgenommen werden, während die beiden übrigen wegfallen. Die auf diese Weise auf die Hälfte reduzierte Probe wird in kleinere Stücke zerschlagen, wieder zum abgestumpften Kegel aufgehäuft und heruntergeviertelt und so fort, bis die geeignete Menge Probematerial vorliegt. In der Regel genügt 1 kg.

Aus dem Wesen der Pickprobe ergibt sich, daß sie bei sorgfältiger Ausführung ein zuverlässiges Durchschnittsresultat der ganzen Gangmächtigkeit an der betreffenden Stelle ergeben muß.

Die Erfahrungen auf vielen Gold- und Schwefelkiesgruben haben gezeigt, daß die Abbauresultate nicht wesentlich von den Resultaten früherer gewissenhafter Pickproben abwichen.

b) Die Schußprobe besteht darin, daß man an der Stelle der Probenahme mit Hilfe eines oder mehrerer Löcher über die ganze Mächtigkeit eine Probe, womöglich von gleicher Stärke, herunterschießt. Die so gewonnene Masse wird weiter zerkleinert und in der bei der Pickprobe angegebenen Weise auf die übliche Probemenge reduziert.

Der Ruf dieser Schußprobe ist im allgemeinen besser, als sie verdient. Eine zuverlässige Probe kann man nur bekommen, wenn aus der Lagerstätte über die ganze Mächtigkeit eine gleich breite und gleich tiefe Masse gewonnen wird. Nun weiß aber jeder, daß die Wirkung der Schüsse im voraus nicht genau abzuwägen ist; im allgemeinen wirken sie spitzkegelförmig nach innen, so daß man nur in den seltensten Fällen genau das bekommt, was man haben will.

Viele Gutachter lassen sich bei dieser Probenahme durch die Menge des gewonnenen Probematerials täuschen, ohne daran zu denken, daß es nicht nur auf die Menge ankommt, sondern vor allen Dingen darauf, daß ein zuverlässiger Durchschnitt der Lagerstättenmasse an der betreffenden Stelle erhalten wird, d. i. eine gleichmäßige Breite und Tiefe.

c) Die Sackprobe. Manche Experten erleichtern sich die Probenahme dadurch, daß sie nicht die einzelnen Proben getrennt untersuchen und die Stelle der Probenahme eintragen, sondern schon bei der Probenahme einen Durchschnitt der ganzen Sohle herzustellen suchen. Sie gehen dann in der Weise vor, daß sie an unzähligen Stellen kleinere Erzproben abschlagen und alles in einen Sack werfen. Von einer Sohle bekommen sie auf diese Weise eine große Menge Material, welches in der bei der Pickprobe angegebenen Weise auf das wünschenswerte Maß reduziert wird.

Die Probe ergibt nur ein zuverlässiges Resultat, wenn der Metallgehalt regelmäßig in der Lagerstätte verteilt ist, wenn also keine sogenannten

Erzfälle vorliegen, und sie wird dann umso zuverlässiger sein, je größer die Zahl der Angriffspunkte genommen wird.

Ich würde sie nur empfehlen in solchen Fällen, wo jemand das Wesen einer Lagerstätte genau kennt, und wo ihn große Erfahrungen vor Täuschungen schützen.

d) Die Bohrmehlprobe. Ist nicht die ganze Mächtigkeit der Lagerstätte zugänglich, so kann man sich eine Durchschnittsprobe durch Bohrung verschaffen. Ungefähr rechtwinklig zu den Grenzen des Erzkörpers setzt man Stoßbohrlöcher mit größeren Durchmessern an und sammelt sorgfältig das Bohrmehl. Man erhält auf diese Weise einen zuverlässigen Durchschnitt, ist auch vor Täuschungen ziemlich sicher, da auf Fälschungen beruhende künstliche Erhöhungen des Metallgehaltes lediglich auf die Oberfläche des Stoßes beschränkt sein können.

Diese Art der Probenahme hat den Nachteil, daß sie viel Zeit erfordert. Bei jedem Bohrloch muß entweder der Gutachter selbst oder ein Vertrauensmann stehen.

e) Die Bohrkernprobe. Namentlich in den letzten Jahren ist es Brauch geworden, die Erzlagerstätten durch Kernbohrungen zu untersuchen. (Siehe II, S. 348.) Die dabei erhaltenen Kerne stellen ein wertvolles Probematerial dar, welches einen zuverlässigen Durchschnitt der Lagerstätte an der betreffenden Stelle ergibt.

In den englischen Kolonien verwendet man die Kerne in der Regel in der Weise, daß man sie in vielleicht zolllange Stücke schlägt und die ungeraden Stücke pulvert, während die geraden als Kontrollmaterial aufbewahrt werden. Man ist hierbei selbstverständlich dem Zufall überlassen, ob zufällig reiche oder arme Partien untersucht werden, da immer nur die halbe Mächtigkeit der Lagerstätten genommen wird.

Mühsamer, aber empfehlenswerter ist das Aufspalten der Kerne der Länge nach, wozu bei ungefähr 10 cm langen Kernstücken nur eine verhältnismäßig geringe Übung gehört. Man nimmt die eine Hälfte der Kerne zur Untersuchung, während die andere Hälfte zur Kontrolle aufbewahrt wird.

Diese Art der Teilung hat vor der ersten den Vorzug, daß die ganze Lagerstättenmächtigkeit untersucht wird.

f) Die Wagenprobe. Bei einer im Betrieb befindlichen Grube empfiehlt es sich, zur Kontrolle aus ganzen Wagen Durchschnittsproben herzustellen. Man läßt zu diesem Zweck jeden dritten oder fünften Wagen, welcher aus dem Schacht kommt, durch den Steinbrecher gehen. Hier wird das Material zerkleinert und ein Teil mit der Schippe in regelmäßigen Zwischenräumen aufgefangen; das zerkleinerte Material wird heruntergeviertelt. Auf diese Weise erhält man große Durchschnitte, welche einen wertvollen Anhaltspunkt geben, wie sich die Gehalte des geförderten Erzes zu den Gehalten der auf die oben beschriebene Weise (a—e) genommenen Proben verhalten.

V. Ergebnisse der Untersuchung.

Es lassen sich zwei Fälle unterscheiden, nämlich a) Objekte, bei welchen die Aufschlüsse nicht zu einer Wertberechnung ausreichen und b) genügend aufgeschlossene Vorkommen.

Je regelmäßiger ein Erzvorkommen von Natur ist, desto weniger Aufschlüsse genügen zur Feststellung seines Wertes. Während Erzlager mit regelmäßiger Verteilung des Metallgehaltes unter günstigen Umständen auf Grund einer größeren Anzahl von Bohrlöchern bewertet werden können, sind im Gegensatz hierzu bei einer magmatischen Ausscheidung von Eisenerz z. B. Aufschlüsse in vielen Richtungen notwendig, um eine Vorrats- und Gehaltsberechnung zu ermöglichen (siehe III, S. 352).

a) Wenn nicht genügend Aufschlüsse da sind, sollte sich jeder Experte einer in Zahlen ausgedrückten Wertangabe enthalten. Man findet aber nicht selten sogar bei Erzvorkommen, deren Aufschlüsse sich lediglich auf die Tagesoberfläche beschränken und bei denen keinerlei Anhalt über die Zusammensetzung der Lagerstättenmasse unter dem Grundwasserspiegel vorliegt, Massen- und sogar Rentabilitätsberechnungen, die gänzlich in der Luft schweben.

Bei ungenügenden Aufschlüssen kann es sich nur um 1) die Angabe solcher bergmännischer Arbeiten, welche vor der Bewertung ausgeführt werden müssen, 2) um die Aufstellung der Unkosten dieser Arbeiten und 3) um die Angabe der Chancen handeln.

b) Ausreichend aufgeschlossen ist eine Erzlagerstätte, wenn das Verhältnis des sichtbaren Erzvorrates zu der mittleren Jahresproduktion mindestens 3 : 1 beträgt.

Bei der Bewertung ist die Menge des sichtbaren und des wahrscheinlich vorhandenen Erzes anders zu behandeln, als das möglicherweise vorhandene, noch nicht aufgeschlossene Erz. Während man aus dem Betriebsüberschuß der beiden erstgenannten Erzvorratsgruppen den augenblicklichen Wert, also eventuell die gerechtfertigte Kaufsumme berechnen kann, stellt das möglicherweise vorhandene Erz lediglich die Chance dar, die jeder, der Käufer sowohl als auch der Verkäufer, so viel wie möglich für sich in Anspruch zu nehmen sucht.

Über die Art und Weise, wie man den Kaufwert rechnerisch feststellt, siehe die Spezialliteratur.

Für die Bewertung der Chance gibt es keine Regel. Im allgemeinen wird der Satz gelten, daß sie dem zukünftig Bergbautreibenden, also z. B. dem Käufer gehört.

Das Institute of Mining and Metallurgy in London schreibt den Bergingenieuren eine scharfe Trennung des Erzvorrats in drei Gruppen vor:

1. visible ore, sichtbares Erz; 2. probable ore, wahrscheinlich vorhandenes Erz; 3. possible ore, möglicherweise vorhandenes Erz.

Von dem visible ore verlangt man, daß es fertig zum Abbau vorgerichtet ist; das heißt z. B. bei einem Gange müssen in dem visible ore — Körper vorhanden sein: die Hauptschächte, Grundstrecken und Gesenke bezw. Abteufen, die der Abbau erfordert. Der Erzkörper muß also in kleineren Partien bis auf die Salbänder allseitig freigelegt sein.

Für das probable ore genügen im Gegensatz hierzu Grundstrecken und die Hauptschächte. Je nach den Lagerungsverhältnissen hat man das Recht, unter und neben dem äußersten Aufschluß eine verhältnismäßig schmale Zone nach der Tiefe oder nach der Seite hinzuzurechnen. Handelt es sich z. B. um sich weit erstreckende Gänge von großer Mächtigkeit, oder um gleichmäßige Erzlager, so kann die Breite der hinzuzurechnenden Zone ohne Bedenken 25 m betragen.

Das possible ore umfaßt diejenige Erzmasse, welche nach den vorhandenen Aufschlüssen möglicherweise da sein kann, d. h. wenn die Verhältnisse stimmen, welche der betreffende Beurteiler annimmt. Aus dieser Erklärung ergibt sich ohne weiteres, daß die Menge des possible ore vollständig dem Gefühl des betreffenden Ingenieurs überlassen bleibt, und daß sie sich streng genommen überhaupt nicht in Zahlen ausdrücken läßt. Bei einer eventuellen Massenberechnung wird jeder Fehler in der Auffassung des Gutachters mit großen Zahlen multipliziert und dadurch meist ein unwahrscheinliches Resultat erzielt.

Die so sehr beliebte Methode, bedeutende Teufen unter dem letzten Aufschluß mit in Rechnung zu ziehen, ohne irgendwelchen tatsächlichen Anhalt dafür zu haben, ist also zu verwerfen und hat nicht zum geringen Teil dazu beigetragen, die Gutachten über Erzlagerstätten in Mißkredit zu bringen.

So wichtig also die Trennung des visible und probable ore einerseits von dem possible ore anderseits ist, muß nach den obigen Ausführungen die Mengenangabe des possible ore unter allen Umständen als irreführend bezeichnet werden, weil zu wenig Anhaltspunkte für eine derartige, auch nur einigermaßen Anspruch auf Wahrscheinlichkeit machende Berechnung vorhanden sind.

Es empfiehlt sich deshalb, diese Vorschrift des Institute of Mining and Metallurgy nur soweit zu akzeptieren, als visible und probable ore in Frage kommen, das possible ore dagegen nicht in Zahlen auszudrücken.

Die Trennung des visible vom probable ore bei der Berechnung ist ebenfalls zu verlangen, wenn der Bergingenieur auch das Recht hat, bei der Bewertung beide Erzquantitäten unter der Voraussetzung zusammenzufassen, daß er die äußeren Grenzen des probable ore möglichst gewissenhaft zieht.

Hat man ein Vorkommen von der Tagesoberfläche aus durch Bohrungen untersucht, so wird man den Erzvorrat je nach der Zahl der Bohrlochaufschlüsse bald als tatsächlich (visible ore), bald als mutmaßlich vorhanden (probable ore) bei der Massenberechnung in Rücksicht ziehen.

VI. Berechnung der aufgeschlossenen Erzmenge.

a. Die Erzmenge.

Am einfachsten gestaltet sich die Massenberechnung, wenn die Mengen zwischen je zwei Sohlen für sich berechnet werden, wobei man auf Grund guter Grubenbilder den abgebauten Teil der Lagerstätte abzieht. Im allgemeinen ist eine solche Massenberechnung ein mehr oder weniger einfaches Multiplikationsexempel von Mächtigkeit mit streichender Länge und Abbauhöhe. Je einfacher die Form des Vorkommens, desto einfacher ist die Berechnung.

Hat man das Volumen auf diese Weise festgestellt, so muß das spezifische Gewicht der Masse möglichst genau berücksichtigt werden. Man erhält es als Resultante aus den spezifischen Gewichten der Mineralien und Gesteine, welche die Erzlagerstätte ausfüllen, indem man kritisch die Mengenverhältnisse, in denen sie auftreten, berücksichtigt. Bei dieser Berechnung sind die Gesteine im allgemeinen mit dem spezifischen Gewicht 2,5 einzusetzen.

Besteht z. B. das Volumen einer Lagerstätte zu 75 Prozent aus Quarz und zu 25 Prozent aus Bleiglanz, so würde sich das spezifische Gewicht auf folgende Weise ermitteln lassen:

Quarz hat spezifisches Gewicht	2,6
Bleiglanz hat spezifisches Gewicht	7,5

Folglich:

$$\begin{aligned} 3 \cdot 2{,}6 &= 7{,}8 \\ 1 \cdot 7{,}5 &= 7{,}5 \\ \hline & \ 15{,}3 \end{aligned}$$

Folglich spezifisches Gewicht der Gangmasse:

$$\frac{15{,}3}{4} = 3{,}8$$

Wichtig ist, daß man sich ein ungefähres Bild über den Abbauverlust macht, der von der ganzen Menge abzuziehen ist. In vielen Fällen

beträgt dieser Abbauverlust ein Viertel, er kann aber auch auf ein Drittel und mehr steigen.

Handelt es sich um lose Massen, so stellt man am besten praktisch das Gewicht einer Volumeneinheit fest. Hat man dazu keine Gelegenheit, so kann man z. B. Kiese und Sande mit dem spezifischen Gewicht von 2 einsetzen.

b. Feststellung der Gehalte.

Handelt es sich um in größeren Mengen auftretende Erze, wie z. B. Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Eisenerz u. s. w., so kann man ein ungefähres Bild über die Durchschnittsgehalte des aufgeschlossenen Teiles der Lagerstätte bei der Befahrung durch folgende Erwägung gewinnen: Man stellt an jedem Arbeitspunkte fest, welcher Teil der freigelegten Lagerstättenoberfläche von dem Erz, bezw. den verschiedenen Erzen und welcher Teil von der Gang- bezw. Lagerart und dem Gang- bezw. Lagergestein eingenommen wird. Schätzt man z. B. $^1/_3$ Zinkblende und $^2/_3$ taubes Material, so sind in 1 cbm Lagerstätteninhalt $^1/_3$ cbm Zinkblende und $^2/_3$ cbm taubes Gestein.

Da das spezifische Gewicht der Zinkblende 3,5—4 ist, kann man annehmen, daß auf dem betreffenden Arbeitsplatze $^1/_3 \,.\, 3{,}5 = 1{,}16$ t Zinkblende vorhanden sind. — Es ergibt sich weiter daraus, daß der Zinkgehalt in der Lagerstättenmasse an der betreffenden Stelle

$$\frac{^1/_3 \,.\, 3{,}5 \,.\, 67}{^1/_3 \,.\, 3{,}5 + {^2/_3} \,.\, 2{,}5} = 27{,}7\,\%$$

beträgt, wenn die Zinkblende nach der Analyse z. B. 67 Prozent Zink enthält.

Auf diese Weise kann man an sämtlichen Arbeitsplätzen, lediglich durch Taxieren, die Zinkblendemenge und den Zinkgehalt annähernd feststellen.

Ein Durchschnitt sämtlicher Schätzungswerte gibt dann ein ungefähres Bild über die Zinkblendemenge und den Zinkgehalt, der auf der ganzen Lagerstätte vorhanden ist.

Der Vorteil einer derartigen Schätzung ist, daß man gleich bei der ersten Befahrung sich klar darüber wird, ob das Objekt bauwürdig ist oder nicht, und ob es sich überhaupt verlohnt, eine genauere Prüfung der Grube vorzunehmen.

Ist man bei dieser Schätzung zu einem positiven Resultat gekommen, oder scheint der Fall zweifelhaft, so geht man an die exakte Feststellung der Gehalte auf Grund der Methoden, welche in dem Abschnitt über die Probenahme näher ausgeführt wurden.

Bei der Grube Mitterberg bei Bischofshofen im Salzburgischen unterscheidet die Verwaltung mit bloßem Auge sechs Klassen von Kupfererz, und es gelingt sogar bei einiger Übung eine Zwischenstufe zwischen je zwei Klassen einzuschalten. Den Stand der Aufschlüsse in einem Monat bringt

man dann in folgendem Schema zur Darstellung, in welchem die erste Reihe die Erzklasse mit den Zwischenstufen, die zweite Reihe die Zahl der Stöße und die dritte Reihe die Punktsumme angibt, welche man dadurch erhält, daß die Klasse mit der Zahl der Stöße multipliziert wird. Vergleicht man die Summen der einzelnen Monate miteinander, so läßt sich leicht eine Verschlechterung oder Verbesserung der Aufschlüsse konstatieren.

Taxierung der Beschaffenheit der einzelnen Abbaustöße bei sehr unregelmäßiger Erzverteilung nach Klassen.

(Beispiel Mitterberg bei Bischofshofen.)

Dezember 1906. (Monatlich taxiert.)

Klassen	Zahl der Stöße	Punktsumme
1	—	—
1½	1	1,5 [1½ . 1]
2	4	8 [2 . 4]
2½	16	40 [2½ . 16]
3	21	63 [3 . 21]
3½	6	21 [3½ . 6]
4	5	20 [4 . 5]
4½	1	4,5 [4½ . 1]
5	1	5 [5 . 1]
5½	—	—
6	—	—
	1	—
—	56	163

Das *Endresultat* der Massenberechnung und der Feststellung des Gehaltes ist also erstens die Angabe der Menge und des Gehaltes des wirklich aufgeschlossenen und zweitens des mutmaßlich vorhandenen Erzes.

Die *zulässige jährliche Förderhöhe* ergibt sich daraus ohne weiteres. Im allgemeinen kann man sich bei nur teilweise aufgeschlossenen Lagerstätten damit begnügen, wenn *fünfmal so viel Erz fertig zum Abbau ist, als jährlich gefördert wird oder werden soll*. Bei *vollkommen* aufgeschlossenen Lagerstätten, bei denen die *ganze* vorhandene Erzmenge bekannt ist, wird man in der Regel, um die Amortisation des Objektes nicht zu hoch werden zu lassen, die Fördermenge höchstens so annehmen, daß sich eine 15—20jährige Betriebsdauer ergibt.

Bei einer beschränkten Menge *sehr reichen* Erzes kann man ausnahmsweise zu dem Resultat kommen, daß ein *kurzer* Betrieb mit

schneller Amortisation des Objektes und des Anlagekapitals das richtige ist.

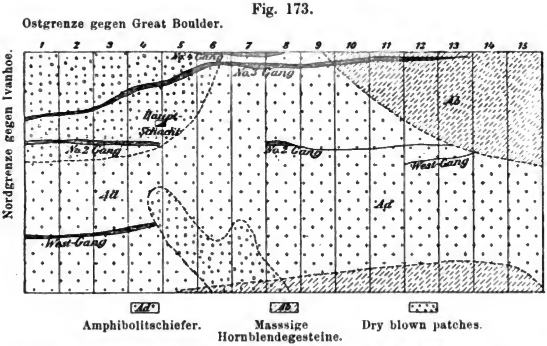
Aus der jährlichen Förderhöhe und den auf bergmännischem Wege festzustellenden Unkosten ergibt sich der zu erwartende jährliche Betriebsüberschuß und aus dem Verhältnis dieser Förderhöhe zu dem Erzvorrat die Lebensdauer der Grube und damit die Höhe der Amortisation des Objektes. Der Umfang des Betriebes ermöglicht die Berechnung des Anlagekapitals.

Das Ziel der Beurteilung einer ausreichend aufgeschlossenen Lagerstätte ist die Feststellung des augenblicklichen Wertes derselben auf Grund von Betriebsüberschuß, Amortisation und Reingewinn.

VII. Die bildliche Darstellung der Erzlagerstätten.

Zum Verständnis eines Erzvorkommens ist eine möglichst vollständige bildliche Darstellung unumgänglich notwendig. Den besten Überblick

Fig. 173.



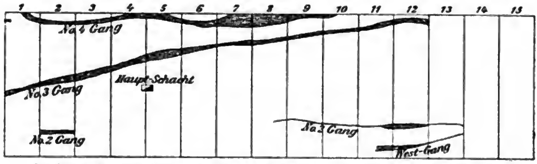
Geologische Karte des Gebietes der Golden Horse-Shoe.
Die senkrechten Linien befinden sich in Abständen von 100' engl. (Z. f. pr. Geol. 1903.)

über den Stand der Aufschlußarbeiten geben Grubenbilder, auf denen sämtliche Sohlen zur Darstellung gelangt sind.

Von den in der Markscheidekunst üblichen Bildern sind Horizontal- und Vertikalschnitte, sowie der flache Riß besonders zu empfehlen. Dagegen sind für weniger Geübte solche Darstellungen zu vermeiden, bei denen durch Projektion eine Verzerrung der Längen und Höhen eintritt.

In vielen Grubendistrikten ist es Regel geworden, sich über das Ver-

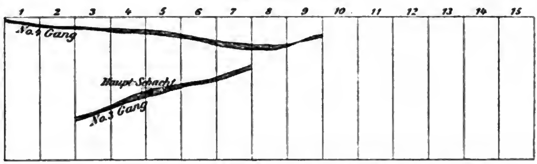
Ostgrenze gegen Great Boulder. Fig. 174.



Horizontalschnitt durch die Gänge der Golden Horse-Shoe in der 200'-Sohle.

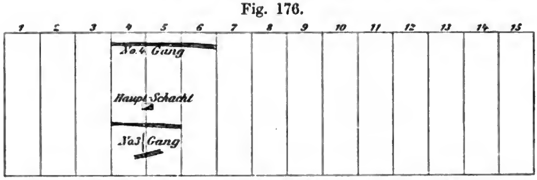
Fig. 175.

Nordgrenze gegen Ivanhoe.



Horizontalschnitt durch die Gänge der Golden Horse-Shoe in der 500'-Sohle.

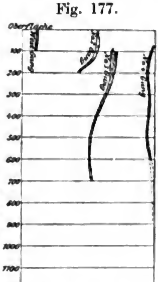
Fig. 176.



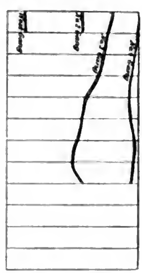
Horizontalschnitt durch die Gänge der Golden Horse-Shoe in der 800'-Sohle.

Fig. 177. Fig. 178. Fig. 179.

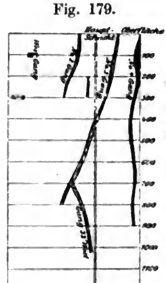
Westgrenze gegen Ivanhoe South Extended.



Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 200' von der Nordgrenze.



Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 300' von der Nordgrenze.

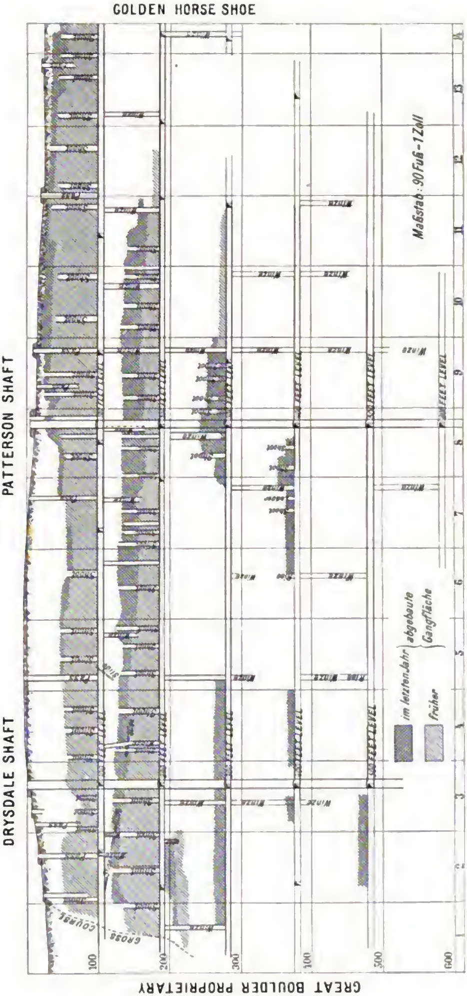


Ostgrenze gegen Great Boulder.

Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 400' von der Nordgrenze.

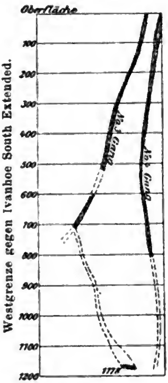
(Krusch, Z. f. pr. Geol. 1903.)

Fig. 180.



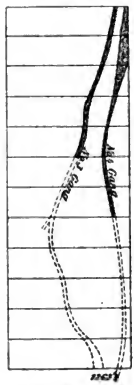
Flacher Riß des Middle Lode der Ivanhoe in Westaustralien mit Angabe des Abbaues. (Jahresbericht der Gesellschaft 1901.)

Fig. 181.



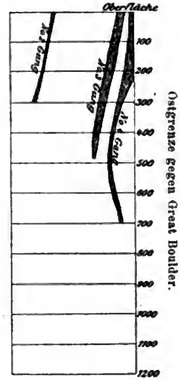
Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 550′ von der Nordgrenze.

Fig. 182.



Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 630′ von der Nordgrenze.

Fig. 183.



Profil der Gänge der Golden Horse-Shoe 700′ von der Nordgrenze.

(Krusch, Z. f. pr. Geol. 1903.)

halten der Lagerstätten im Streichen und Fallen dadurch zu orientieren, daß man nicht nur eine größere Anzahl von Horizontalschnitten in verschiedenen Teufen legt (siehe Fig. 173—176), sondern im Streichen in regelmäßigen Abständen Profile konstruiert (siehe die entsprechenden Bilder Fig. 177—179 und 181—183).

Das genaue Studium eines sorgfältig nachgetragenen Grubenbildes kann sogar unter Umständen über die Verteilung der reichen Erze im Gange Aufschluß geben. Aus der Verteilung des Abbaues geht häufig das Einschieben der Erzfälle hervor.

Die Abbauverhältnisse kommen auf derartigen Bildern weniger oder nur teilweise zum Ausdruck; zu ihrer Darstellung eignen sich vor allem die flachen Risse, d. i. die Darstellung des Erzvorkommens auf einer Ebene, welche im Streichen und Fallen mit der Erzlagerstätte übereinstimmt.

Um in Jahresberichten den Jahresfortschritt zum Ausdruck zu bringen, empfiehlt es sich, diejenigen Partien, in welchen der Bergbau umgegangen ist, besonders hervorzuheben. Fig. 180 zeigt den Stand des Abbaues einer Grube. Die Fortschritte des letzten Jahres sind durch Kreuzschraffur gekennzeichnet.

Horizontalschnitte und flacher Riß sind auch besonders bei der Probenahme heranzuziehen, da sie zur Eintragung der betreffenden Probepunkte am geeignetsten sind (siehe IV, S. 370).

Kapitel 39.

Untersuchungen im Interesse der Steinbruchindustrie.

O. Herrmann, Steinbruchindustrie und Steinbruchgeologie. Berlin, Gebr. Bornträger 1899.

Bei der Untersuchung eines Gesteins für die Zwecke der Steinbruchindustrie sind folgende Punkte zu beachten:

1. Mineralogische und chemische Zusammensetzung.
2. Struktur.
3. Lagerungsform.
4. Tektonische Verhältnisse.
5. Streichen und Fallen.
6. Absonderung.

Über die Punkte 1—5 sind bereits in den Abschnitten über geologische Kartenaufnahme die nötigen Mitteilungen gemacht worden, die sinngemäß auch auf die vorliegenden Untersuchungen Anwendung finden.

Nur über die unter 6. genannte, sehr wichtige Erscheinung seien nach Prof. Dr. O. Herrmann, dem wir in diesem Abschnitte ausschließlich folgen, noch eine Reihe von Bemerkungen gemacht.

Unter den Sedimenten ist die am weitesten verbreitete Absonderung durch die Schichtung bedingt. In Kap. 9 sind bereits eine Reihe von Angaben über diese Erscheinung gemacht.

Eine Schicht technisch nutzbaren Gesteins nennt man gern Lager und spricht beispielsweise von Marmor-, Kalkstein-, Dachschieferlagern, wenngleich die Technik diesen Ausdruck auch auf Eruptivgesteine anwendet und Diabaslager etc. kennt. Neben Lager ist das Wort Flöz noch im Gebrauch und zwar namentlich für Kohlenschichten.

Die beiden Begrenzungsflächen der Schicht heißen die Dach- und die Sohlfläche oder kurz das Dach und die Sohle. Die Technik bezeichnet die Ablösungsflächen zwischen zwei Schichten als Lagerflächen, die Richtung parallel dazu als „Lager", wendet diese Namen aber auch auf andere Ablösungsflächen, wie Schieferungs- und Bankungsklüfte, an. So geben beispielsweise die Prüfungsanstalten Aufschluß darüber, ob die Festigkeit senkrecht oder parallel zum „Lager" ermittelt worden ist.

Der technische Wert einer Schicht hängt von ihrer Mächtigkeit ab, da durch diese die erreichbare Dicke der zu gewinnenden Blöcke bestimmt ist, und in vielen Fällen von der Gleichmäßigkeit der Ausbildung. Letztere ist bei Sandsteinen, die auf feinere Mühlsteine, auf Holzschleifer, auf Schleifsteine verarbeitet werden sollen, von Wichtigkeit. Dann müssen

einzelne gröbere Fragmente, festere oder weichere Konkretionen, größere Löcher, zahlreichere Versteinerungen etc. fehlen. Die den Schichtgesteinen eingelagerten Glimmermineralien beeinträchtigen fast stets den Wert eines Sedimentgesteines, da auf ihren zahllosen Spaltflächen die atmosphärischen Wässer in das Gestein eindringen, ein Aufblättern und damit ein Zerspringen des Gesteins verursachen.

Eine wirkliche Trennung einzelner Schichten durch mehr oder weniger weit klaffende, der Schichtung parallele Fugen (Schich-

Fig. 184.



Schichtungsfugen im Cottaer Sandstein, besonders markiert durch Lochhorizonte (Sandlöcher). Im oberen Teil, namentlich linker Hand, dünne bankförmige Aufteilung. Sandsteinbruch von B. Schmiedel im Lohmengrunde bei Groß-Cotta unweit Pirna. (Aus Herrmann.)

tungs-, Lagerfugen), die auf senkrechten Anschnitten schnurgerade Linien ergeben (Fig. 184), vollzieht sich erst nach der Verfestigung des Gesteins und zwar von der Oberfläche nach der Tiefe zu und ist der Ausdruck der beginnenden Verwitterung. In ihr spricht sich, wie in der bankförmigen Absonderung, ein Aufspringen der Gesteinsmassen aus, welches naturgemäß an Stellen geringerer Festigkeit, wie sie die fremden Lagen, die durch Druck der überlagernden Gesteinsmassen angelegte Druckflächen etc. darstellen, erfolgt.

Für die Steinbruchtechnik haben die Schichtungsfugen immense Bedeutung, da sie natürliche Spaltflächen bieten, welche vom Steinbrecher in ausgie-

bigem Maße bei der Lostrennung der Gesteine benutzt werden und einen großen Teil der sonst nötigen Spaltarbeit überflüssig machen. Sie stellen im Verein mit den Absonderungsfugen der Bänke, den Schieferungsfugen und den Druck- bezw. Berstungsklüften (Losen) die wichtigsten natürlichen Faktoren eines jeden Steinbruchbetriebes dar.

Eine andere Art von Störungen der Schichtenlage spricht sich in einer Biegung, Knickung oder Faltung aus, welche durch eine Horizontalbewegung, durch Zusammenschiebung hervorgerufen werden. Es können dabei rinnenförmige Biegungen (Mulden, Bassins, Synklinalen) oder Wölbungen (Sättel, Gewölbe, Kuppeln, Antiklinalen) oder, wenn sich Mulden und Sättel aneinanderschließen, Falten entstehen. Zarte Fältelungen, Kräuselungen, seltsame Windungen, Verdrehungen von Gesteinsschichten gehören hierher.

Störungen in der Schichtenlage sind endlich die Verwerfungen, welche auch oft mit dem Worte „Dislokation" schlechthin bezeichnet werden. Sie entstehen, wenn längs eines oder vieler in der Erdkruste gebildeten Risse (Verwerfungs- oder Dislokationsspalten) eine Verrückung und Verschiebung der angrenzenden Gebirgsteile stattfindet.

Alle Formen der Schichtenstörungen können für die Steinbruchtechnik von Bedeutung werden und erfordern deshalb eine sorgfältige Ermittlung. Aus dem Einfallen einer Schicht ergibt sich im Verbande mit der Oberflächengestalt die Größe der Zu- oder Abnahme des Hangenden, welches oft den nicht verwertbaren Abraum einer Lagerstätte bilden kann, und dessen Mächtigkeit den Zeitpunkt bestimmt, an welchem ein Tagebau eingestellt oder, wenn tunlich, mit unterirdischem Abbau vertauscht werden muß. Mit Hilfe der Kenntnis des Einfallens eines bauwürdigen Lagers läßt sich feststellen, welche Richtung und Länge ein anzulegender Förder- oder Wasserhaltungsstollen erhalten, wo ein Schacht angesetzt werden muß etc. Die Streichungsrichtung einer Schicht gibt uns Aufschluß darüber, wo wir dieselbe an anderen Stellen der Nachbarschaft zu erwarten haben. Knickungen und Biegungen in Schichten können manche Verwertungsarten unmöglich machen, so diejenigen zu Dachschiefern, zu Platten etc. Werden beim Abbau Dislokationslinien angetroffen, so wird schon die Biegung der Lagen an der Dislokationsspalte darauf hinweisen, ob eine zu verfolgende Schicht jenseits der Spalte oberhalb oder unterhalb ihres Niveaus zu suchen ist.

Weitere Wirkungen des gebirgsbildenden Druckes sind:

1. Lose (englisch: dip joints oder end joints und strike joints oder back joints, norwegisch: spraekker). (Fig. 185, 186.) Die außerordentlich

verbreiteten Risse und Klüfte, welche in vorwiegend steiler Stellung die Gesteinsmassen der Erdkruste zerteilen und nicht auf Absonderungserscheinungen zurückgeführt werden können, finden sich in der geologischen Literatur als Pressungs- oder Druckklüfte, wenn sie durch seitliche Pressung entstanden angenommen werden, oder als Berstungsklüfte bezeichnet, in der Steinbruchtechnik als Lose, welcher Name gern in

Fig. 185.



Bankförmige Absonderung im mittelkörnigen Lausitzer Biotitgranit. Bänke nach der Tiefe zu mächtiger werdend. Rechter Hand 3 senkrechte Druckklüfte (Lose). Alter Steinbruch im O. von Bautzen. Höhe ca. 12 m. (Aus Herrmann.)

Laaße, Lassen, Lösse verunstaltet wird, oder bisweilen auch als Schlechten.

Diese Klüfte verfolgen in einer bestimmten Gegend in der Regel mehr oder minder genau eine bestimmte Richtung, verlaufen in mehr oder weniger großer Entfernung meist von nur einigen Metern, bisweilen nur Zentimetern parallel oder annähernd parallel nebeneinander, sind meist ebenflächig, als ob sie mit dem Messer geschnitten seien, glatt und größtenteils auf den Flächen mit gelben bis braunen Überzügen von Eisenoxyden bedeckt. In Figur 185 sind die Granitbänke durch parallele, senkrechte Druckklüfte in 2—6 m lange Platten zerteilt, in Figur 186 ist der Granit linker Hand durch mehrere geneigte Klüfte in schmale, kaum verwertbare Stücke zerschnitten, während diese in der Mitte fehlen und dort lange Platten entstehen. — Sehr verbreitet ist die Erscheinung, daß die Lose

nicht nur parallel einer Richtung, sondern parallel zwei, selten auch drei Richtungen auftreten, wodurch sogenannte Kluftsysteme entstehen. Die Stellung der Klüfte ist meist steil, vielfach senkrecht, ganz selten bis zu 30° herab geneigt. Bei ihrer Bildung hat ein tieferer Eingriff in die Natur der Gesteine nicht stattgefunden, wenn schon öfters sogenannte Harnische, d. h. spiegelglatte Flächen, Streifen auf ihnen (Friktions-

Fig. 186.



Lausitzer Biotitgranit, links durch enggescharte Lose zerschnitten: in der Mitte Abheben einer Bank durch Keilspalten.
Steinbruch am Südabhange des Taubenberges. (Aus Herrmann.)

streifen), kleine Verwerfungen an zerschnittenen Gängen oder Einschlüssen geringe Bewegungen der Gebirgsteile längs dieser Klüfte anzeigen. Zermalmungserscheinungen, wie sie bei den eigentlichen Verwerfungen vorkommen, sind meistens nicht zu beobachten. — Die Entfernung der Druckklüfte im Felsuntergrund ein und derselben Gegend scheint abhängig zu sein von der Korngröße des Gesteins. Dieses eigentümliche Phänomen scheint sich so zu erklären, daß grobkörnige Gesteine der Druckwirkung gegenüber ein widerspenstigeres Material als feinkörnige abgaben und die Klüfte in weiteren Abständen entstehen ließen.

Die Lose treten uns meist als nur wenige Millimeter breite Spalten, die bald über lange Strecken und in unbekannte Tiefen fortsetzen, bald aber auch stellenweise aussetzen, entgegen. Spalten, die früher weiter klafften,

sehen wir bisweilen durch Mineralien, wie Kalkspat, Quarz, Mineralaggregate, wie Pegmatite, oder aber durch normale Eruptivgesteine ausgefüllt und nun in Form von Gängen vor uns. Sehr häufig finden sich parallel zu den wirklichen Spalten noch Haarrisse oder aber auch nur Flächen, welche als Schnitte erkannt werden können, aber den Stein nicht mehr zerteilen.

In der Technik werden die feineren, oft mit dem Auge nicht erkennbaren Risse als Stiche bezeichnet und gefürchtet, da größere Stücke unter der Bearbeitung mit den Werkzeugen oft längs ihnen auseinander fallen, und weil sie in polierten Flächen als Risse erscheinen.

Für die Steinbruchtechnik sind die Lose nächst den Schichtungs- und Bankungsklüften der wichtigste Faktor, eine gewaltige natürliche Hilfe und Unterstützung des Steinbrucharbeiters. Durch sie wurde das starre, kompakte Gebirge von der Natur in Teile zerschnitten. Der Felsen hat Fugen bekommen, welche das Spalten in senkrechter Richtung ungezählte Male überflüssig machen, welche die Herausnahme losgesprengter Blöcke aus dem Felsverbande wesentlich erleichtern, da sie ohne diese festklemmen würden. Der Abstand der Lose entscheidet an jeder Gesteinslagerstätte ohne weiteres über die Möglichkeit, größere Blöcke zu gewinnen, und damit über die Verwertbarkeit der Lagerstätte zu größeren, lohnenderen Arbeiten, wie gestockten und polierten Bau- und Dekorationssteinen etc. — Die Anordnung der Lose war Veranlassung zur Aufstellung mehrerer in Mitteldeutschland allgemein gebräuchlicher, technischer Bezeichnungen, welche bestimmte, sich beim Abbau wiederholende Situationen kennzeichnen. So nennt der Steinbrecher der Werksteinbrüche, in denen nach dem Gesagten im allgemeinen die Lose in größeren Abständen voneinander verlaufen müssen, Zonen mit enggescharten Klüften Riegel, da sie dem Abbau langer Platten und umfangreicher Klötze gewissermaßen einen Riegel vorschieben, und da das arg zerstückelte Gestein dieser Zonen meistens unter Aufwand von Zeit und Kosten nutzlos entfernt werden muß. Eine Wiederholung solcher Riegel kann einen Bruch leicht zum Erliegen bringen.

Die Erscheinung, daß einzelne Lose von der herrschenden Richtung abweichen und nun die Bänke oder Schichten unregelmäßig zerteilen, wird Zwang, die Zone, in der die Erscheinung auftritt, eine Zwänge genannt. Auch sie sind dem ungestörten, rationellen Abbau hinderlich, zwingen zur Anwendung von Sprengmitteln und geben zur Entstehung von unverwertbarem Material und damit von Kosten Veranlassung.

2. Eine andere Gruppe von Spalten und Klüften, die ebenfalls in Dislokationen begründet sind, die sich aber wesentlich von den im vorausgehenden geschilderten unterscheiden, sind diejenigen, an welche die sogenannte Druckmetamorphose (Dynamo-, Pressions-, mechanische Metamorphose) der Gesteine geknüpft ist. Bei ihrer Bildung fand nicht nur eine Zerteilung des Gebirgskörpers, sondern eine anscheinend rasche und stürmische Bewegung der entstandenen Teile gegeneinander statt, so daß die zwischen den Spalten liegenden Gesteinspartien gewaltige Pressungen und Quetschungen erlitten, und sich in ihnen Streckungen und Auswalzungen der Gemengteile, Zerstückelungen, Zerreibungen und Zermalmungen, sowie anderseits Mineralneubildungen, Verkittungen der Fragmente und Verheilungen der entstandenen Risse geltend machen konnten. Die feineren Risse wurden meistensteils durch Kalkspat, breitere Spalten durch weißen, kristallinischen Quarzfels ausgefüllt. Letztere ließen so die Quarzgänge entstehen, welche, der Verwitterung schwer zugänglich, oft mauerartig über die Nachbargesteine hervorragen und als Verräter der Störungszonen kilometerlang an der Oberfläche zu verfolgen sind.

Es leuchtet ohne weiteres ein, daß die abgehandelten Druckwirkungen auf die Verwertbarkeit der Gesteine, welche in solche Druckzonen fallen, einen vorwiegend höchst ungünstigen Einfluß ausgeübt haben müssen.

Es kann innerhalb dieser Zonen die Möglichkeit, ein Gestein nicht nur für größere Arbeiten wie Werkstücke, Dekorations- und Monumentsteine, sondern auch für kürzere Produkte, wie Mauer- und Pflastersteine, mehr oder weniger gänzlich vernichtet worden sein, da die beim Abbau sich ergebenden Bruchstücke erheblich an Festigkeit eingebüßt haben und mit Haarrissen (Stichen) reichlich durchsetzt erscheinen. Der Steinbruchtechniker wird derartige Störungszonen fliehen, er wird aber auch ihre Nähe meiden müssen, da die Haarrisse auch dann sich noch in den Gesteinen finden, wenn letztere für das unbewaffnete Auge völlig unverändert und normal erscheinen. Da man im stande ist, mit Hilfe der mikroskopischen Gesteinsuntersuchung die Beeinflussung durch Druckwirkung viel früher zu erkennen, als bei Betrachtung mit dem bloßen Auge, so liegt hier wieder ein Fall vor, in dem der Geolog dem Techniker unschätzbare Dienste leisten bezw. der geologisch gebildete Techniker sich wissenschaftliche Kenntnisse zu nutze machen kann, und ein Grund mehr für den Wunsch, daß die mechanische und chemische Untersuchung eines Gesteins stets von einer mikroskopischen begleitet und ergänzt werden möchte!

3. Über die Absonderung der Gesteine. Vergleiche S. 25 und folgende.

Die säulenförmige Absonderung besteht darin, daß ein Gestein

in langgestreckte, meist gerade, prismatische Körper zerklüftet ist. Die Säulen sind oft regelmäßig sechsseitig, vielfach aber mit etwas weniger oder mehr als sechs Seiten ausgebildet. Diese Absonderung hat sich teils bei der Entstehung des Gesteins herausgebildet und findet sich in dieser Form außerordentlich oft am Basalt (schöne Beispiele: Fingalshöhle auf der schottischen Insel Staffa, Riesendamm in Irland, Hirtstein im Erzgebirge, Herrenhausberg bei Steinschönau im nordöstlichen Böhmen etc.) und auch häufig am Quarzporphyr (dicke Pfeiler: Altoschatz, Altenhain bei Frankenberg; dünne Stengel: Augustusburgfelsen, sämtlich in Sachsen), teils ist sie bei der Gluteinwirkung von Eruptivgesteinen auf sedimentäre Gesteine entstanden (die Sandsteinorgel bei Jonsdorf unweit Zittau, von Basalt oder Phonolith erzeugt).

Die säulige Absonderung hat die Verwertbarkeit der Gesteine hauptsächlich ungünstig beeinflußt. Die Gesteine werden durch sie in schmale Stücke zerklüftet, so daß die Gewinnung größerer Klötze meist ausgeschlossen ist. Darauf ist die einförmige Verwertbarkeit der meisten Basalt- und Quarzporphyrvorkommen zurückzuführen. — Sind die Säulen regelmäßig und zierlich geformt, so finden sie ohne weitere Bearbeitung oft für Gruppen in Gärten, als Prellsteine etc. lohnenden Absatz. — Der Abbau ist durch diese reichliche Zerklüftung aber meist erleichtert, indem er vorwiegend ohne Anwendung von Sprengmitteln mit Brechstange und Keilen vorgenommen werden kann. Die Querteilung der Säulen, welche eine Absonderung parallel der Felsoberfläche darstellt (S. 28), vermehrt die natürliche Zerstückelung. Aus dicken Pfeilern lassen sich auch Werkstücke gewinnen (Quarzporphyr bei Altoschatz).

Bei der plattenförmigen Absonderung erscheint ein Gestein in parallele, tafelförmige Körper gegliedert. Sie ist namentlich am Phonolith, Quarzporphyr (z. B. bei Dornreichenbach und Heyda unweit Wurzen) vertreten, bisweilen auch am Basalt (Wolfsbergspitze bei Schönlinde, Pirsken bei Schluckenau in Böhmen). Häufig wird sie in Gängen beobachtet, wo dann die Platten den Begrenzungsflächen oder Salbändern parallel liegen. Bezüglich ihrer technischen Bedeutung gilt das von der vorigen Absonderung Gesagte. Die entstandenen, meist von ebenen, glatten Flächen begrenzten Tafeln machen ebenfalls oft eine Bearbeitung überflüssig. Dünne Platten lassen sich leicht zu Mosaikpflastersteinen zerschlagen.

Kugelige (sphäroidische, konzentrisch-schalige) Absonderung liegt vor, wenn ein Gestein in runde, mehr oder weniger vollkommen kugelige oder abgeplattete, birnenförmige und oft bizarr gestaltete Körper zerteilt ist. Sie pflegt erst durch die Verwitterung deutlicher hervorzutreten und offenbart dann ihren schaligen Bau, indem die einzelnen, wie bei einer Zwiebel übereinander geschichteten Schalen leicht zu Grus verwittern, während der Kern oft auffallend frisch und rißfrei erhalten bleibt. Sie

kommt an Diabasen (schön an den meisten Lausitzer Diabasgängen zu sehen), dann auch am Granit, Porphyr, Trachyt, Basalt, an Lava, weniger deutlich auch bisweilen an sedimentären Gesteinen, wie Sandsteinen, Tuffen, vor.

Für den Abbau eines Gesteins ist diese Struktur dann meist störend, wenn dieser auf die Gewinnung größerer Klötze etc. gerichtet ist, da durch sie nicht oder geringer verwertbare Gesteinspartien entstehen, deren Beseitigung Kosten verursacht. Sie kann jedoch auch vorteilhaft wirken, wenn nämlich die Absonderungsformen große Dimensionen aufweisen und wenn der erwähnte Fall besteht, daß sie einen frischen Kern bergen.

So werden in der sächsischen Lausitz auf manchen tief verwitterten Diabasgängen die nicht angegriffenen, zum Teil kolossalen Kerne aus dem lockeren Verwitterungsgrus einfach herausgegraben, dann erst gespalten und in den Schleifwerken zu polierten Arbeiten verwertet.

Die unregelmäßig polyedrische Absonderung wird erzeugt, wenn das Gestein von regellosen Absonderungsklüften durchzogen erscheint, so daß vielflächige, scharfkantige Gesteinsstücke entstehen. Es wird dieser Absonderungsform zwar eine große Verbreitung zugeschrieben, doch erscheint sie garnicht so häufig, da die scheinbar unregelmäßige Zerklüftung eines Gesteins in sehr vielen Fällen aus dem Zusammenauftreten regelmäßiger Absonderungs- oder Schichtfugen und gesetzmäßig angeordneter jüngerer Druck- oder Berstungsklüfte (Lose) hervorgeht.

Die unregelmäßig polyedrische Absonderung macht die Verwertung eines Gesteins zu Werkstücken, vielfach sogar zu Pflastersteinen und Mauersteinen zu nichte, erleichtert aber die Gewinnung kleiner Bruchstücke, wie sie zur Herstellung von Steinschlag etc. willkommen sind.

Die sogenannte bankförmige Absonderung[1]) (Fig. 185 und 186). Die Trennung einer Gesteinsmasse in Körper von beträchtlicher Längen- und Breitenausdehnung bei bedeutenderer Dicke wird dann bankförmige Absonderung genannt, wenn die Körper nicht sehr steil stehen, sondern mehr oder weniger flache Lage haben, so daß sie uns auf einem lotrechten Schnitt, etwa an einer Steinbruchwand, als übereinander geschichtete, dicke, flachlinsenförmige Platten entgegentreten. — Die Technik bezeichnet sie als Bänke oder Schichten und unterscheidet an ihnen die Sohle und das Dach. Die Ablösungsflächen nennt der Steinbrecher, wie

---

[1]) Für sie werden bisweilen auch die Namen „plattige" und „quaderförmige" Absonderung gebraucht.

bei der Schicht, die Lagerflächen (in Amerika: bottom joints). Der Abstand zweier Ablösungsflächen bestimmt die Dicke oder die Mächtigkeit der Bank. Es läßt sich an den Bänken, genau wie bei den Schichten (Kap. 10), mit Hilfe des Kompasses Streichungsrichtung und Einfallen bestimmen. Sehr dünne Bänke nennt der Steinbrecher Blätter und Steinbrüche, in denen solche dünne Bänke erschlossen sind, stellenweise Blätterbrüche (in Amerika: sheet quarries).

Die bankförmige Absonderung ist sehr häufig bei stockförmigen Gesteinsmassen und besonders gut an Graniten und Granitporphyren, viel weniger gut an Syeniten und Quarzporphyren ausgeprägt, kommt aber an allen anderen Eruptivgesteinen und bisweilen auch in völlig gleicher Weise an Sedimentärgesteinen, wie Tuffen, Sand- und Kalksteinen vor. Das letztere ist dann der Fall, wenn das Gestein ursprünglich ein sehr dickes, aus völlig gleichem Material gebildetes, kompaktes Lager darstellte (z. B. der Quadersandstein des Liebethaler Grundes im Norden von Pirna, die Porphyrtuffplatte des Zeisigwaldes bei Chemnitz).

Da, wo die bankförmige Absonderung ausgebildet ist, lassen sich nach den Beobachtungen Herrmanns folgende Gesetzmäßigkeiten konstatieren:

1. Die Absonderungsfugen erscheinen an senkrechten Schnitten nicht als gerade Linien, wie die Schichtungs- (Fig. 184), Schieferungs-, Druck- und Berstungsklüfte, sondern wellig, geschwungen (Fig. 185).

2. Die sogenannten Bänke sind nahe der Oberfläche des Felsens dünn, meist nur wenige Zentimeter stark, und werden nach der Tiefe zu allmählich dicker.

Sie wachsen in der Regel bis auf 3, bisweilen aber auch auf 10 und mehr Meter an, während die Ablösungsfugen immer feiner werden, nicht mehr durch das ganze Gestein hindurchgehen, sondern streckenweise aussetzen, die Bänke, wie in der Technik gesagt wird, mehr und mehr verwachsen. Schließlich verlieren sie sich in noch größerer Tiefe gänzlich, so daß der Fels dann — abgesehen von etwa vorhandenen Druck- oder Berstungsklüften, die mit dieser Absonderung nichts zu tun haben — eine kompakte, ungeteilte, einheitliche Masse darstellt.

In der durch Figur 185 wiedergegebenen, ca. 12 m hohen Granitwand sind die Bänke verhältnismäßig dünn und wachsen von wenigen Zentimetern an der Oberfläche bis zur Steinbruchsohle auf ca. 0,75 m an.

Die Zunahme der Dicke der Bänke erfolgt im allgemeinen umso rascher, je gröber das Gesteinskorn ist.

3. Die Teilungsklüfte verschwinden bei verschiedenen Gesteinen derselben Gegend und an ein und

demselben Gestein in verschiedenen Gegenden in verschiedener Tiefe.

4. Die Lage der Bänke steht in Übereinstimmung mit der Gestalt der jetzigen Oberfläche des Felsens (wobei Fels- und Terrainoberfläche zu unterscheiden sind!).

Bei einer Fels kuppe fallen die Bänke demnach an den Abhängen rundum von der Kuppe mit der Neigung ihrer Böschung ab, auf dem Gipfel liegen sie horizontal. Die Bänke bilden übereinander liegende Schalen oder Kappen. In Tälern fallen die Bänke darnach überall nach der Sohle des Tales hin ein, hängt ihre Neigung von der Steilheit der Gehänge ab.

5. Die beste Spaltbarkeit (Gare) des Gesteins geht parallel diesen Absonderungsflächen.

Herrmann ist zu dem Resultat gelangt, daß in der sogenannten bankförmigen Absonderung der Gesteine nur der Ausdruck des Beginnes und des Fortschreitens der Verwitterung von der Oberfläche nach der Tiefe hin zu sehen ist. Unter dem Einfluß der fortwährenden mit Volumenvergrößerung und Kontraktion verbundenen Temperaturschwankungen, namentlich während des Gefrierens und Auftauens, springt der Felsen an der Oberfläche gewissermaßen auf, er löst sich in immer dünneren Schalen ab[1]). Es entspricht darnach nur der Erwartung, daß dieses Aufspringen in einer von Hause aus gänzlich ungegliederten Masse parallel der Oberfläche erfolgt und daß die Absonderungsbänke nahe der Oberfläche zahlreich sind.

Der Grad der Ausbildung dieser bankförmigen Teilung hängt ab von der Verbandfestigkeit, der mineralogischen Zusammensetzung (bei Hornblende- und Augitgesteinen scheint die Teilung viel weniger tief zu gehen als bei glimmerreichen), von der Korngröße des Gesteins, vom Klima, von der Höhenlage, von der Lagerungsform, von dem Grade der Fortführung der Verwitterungsprodukte, von der Bedeckung mit lockeren, jüngeren Gesteinen, wie Sand, Ton, von dem Neigungswinkel der Berge etc. Die Absonderungs- oder, richtiger, die Verwitterungssprünge sind abhängig von der Gestalt der Felsoberfläche, nicht umgekehrt diese von der Absonderung.

Für den Steinbruchbetrieb ist die Gesetzmäßigkeit, welche die bankförmige Absonderung beherrscht, von unsagbarer Bedeutung. Ihr zufolge liegen

[1]) G. Merrill schreibt ihre Entstehung auch der „atmospheric action“ zu.

die Bänke ausnahmslos an den Hügeln, wie man sagt, in rechtsinniger Lage, d. h. auf den Beschauer zufallend, der Neigung des Hügels entsprechend, und können an jedem Punkte des Abhanges angebrochen werden, ihr zufolge ist also niemals eine widersinnige Lage, d. h. ein Einfallen vom Beschauer ab, in den Berg hinein, vorhanden.

Diese Absonderung erspart dem Techniker sehr oft beim Keilspalten das Zerteilen in horizontaler Richtung und damit Aufwand von Zeit und Geld; denn sind die Bänke dünn, so bedarf es nur des Zerspaltens einer oberflächlich freigelegten Bank in vertikaler Richtung nach zwei senkrecht zueinander stehenden Linien. Die entstehenden Spaltrisse dringen bis zur nächsten Ablösungsfläche vor, so daß ohne weiteres parallelepipedische Blöcke hervorgehen.

Je vollkommener die bankförmige Absonderung ausgebildet ist, umso leichter und gewinnbringender ist der Abbau, je mehr die Bänke aber „verwachsen", umso schwieriger wird er, umso geringer die Aussicht, Platten zu gewinnen etc.

Die Anlage eines Steinbruches.

Über die Vorarbeiten bei Anlage eines Steinbruches, die bei der Begutachtung vom geologischen Standpunkte aus wesentlich sind, macht Herrmann folgende Angaben.

Vorarbeiten. Liegt die Absicht vor, ein Gestein an einer gegebenen Stelle abzubauen, so wird es unerläßlich sein, vor der Eröffnung eines eigentlichen Steinbruches durch Vorarbeiten festzustellen, ob ein solcher Aussicht auf Gedeihen haben kann. Vorausgesetzt ist, daß Erwägungen allgemeiner, meist kaufmännischer Natur die Existenz eines Betriebes möglich erscheinen lassen. Solche Erwägungen würden sich auf die Frage beziehen, ob geeignete Transportwege zur Bruchstelle vorhanden oder mit welchen Kosten solche anzulegen sind, wie groß die Entfernung von Eisenbahn, Wasserweg oder einem großen direkten Absatzgebiet ist, wie die Terrainverhältnisse beschaffen sind, ob die Möglichkeiten, Arbeiter heranzuziehen, weitere Landerwerbungen zu machen, vorliegen, ob — mit Rücksicht auf die Sprengarbeiten — bewohnte Gebäude, Verkehrsstraßen, Eisenbahnlinien in großer Nähe sich befinden u. v. a. m. Die Voruntersuchungen selbst dürften sich einmal auf das Studium der von der betreffenden Gegend vorhandenen geologischen Karten nebst Erläuterungsheften, des bezüglichen Gesteins in Sammlungen und etwa vorliegender Festigkeitsprüfungen an derselben Gesteinsart aus der Nachbarschaft, sodann auf ein genaues Studium aller in der Nähe vorhandenen Gesteinsentblößungen, namentlich von solchen in gleichartigem Material, und endlich auf

die Anlage von Versuchsschürfen und Bohrlöchern zu erstrecken haben.

a) Mit Hilfe der geologischen Karten im Verein mit den Gesteinsbeschreibungen wird man sich zunächst eingehender über die allgemeine Natur eines ins Auge gefaßten Gesteines unterrichten können. Man wird Aufschluß erhalten über die mineralogische und chemische Zusammensetzung, über Struktur, über die Lagerungsform (ob Stock, Decke, Gang, Kuppe, Schicht, Kap. 15), über die tektonischen Verhältnisse (ob Störungen im Gebirgsbau der Gegend vorhanden sind und die Gesteine infolgedessen stark mit Rissen, namentlich Haarrissen, durchsetzt sein werden, Kap. 12), ferner über das Streichen und Einfallen der Schichten (Kap. 10) und die mit dem letzteren im Zusammenhang stehende Ab- oder Zunahme des Abraumes nach einer bestimmten Richtung hin. Aus diesen Aufklärungen werden schon zahlreiche Schlüsse zu ziehen sein, namentlich bezüglich der Ausdehnung des Landerwerbs, wenn es sich um Ganggesteine, um dünne Decken und Schichten, um starken Abraum handelt. Noch nutzbringender werden die Karten sein, wenn sie als Wegweiser bei Aufsuchung technisch geeigneter Gesteinsvorkommen dienen können, wenn der Ort der Steinbruchanlage also noch nicht bestimmt ist. Hier werden die auf den Karten eingetragenen Gesteinsgrenzen, „Gebirgsscheiden", wichtige Fingerzeige abgeben. So wird man beispielsweise bei Aufsuchung geeigneten Straßenbaumaterials in Tonschiefergebieten, die von Eruptivgesteinen durchsetzt sind, sich möglichst nahe der Grenze zu letzteren zu halten haben, da die Tonschiefer dort am stärksten metamorphosiert sind und dadurch viel fester erscheinen. Umgekehrt wird man bei Wahl einer Bruchstelle im Gebiete eines stockförmigen Eruptivgesteins zum Zwecke der Gewinnung von Dekorationssteinen die Grenzpartien des Gesteinsvorkommens möglichst zu vermeiden haben, weil daselbst allerhand Abweichungen von der normalen Gesteinsbeschaffenheit vorkommen können, indem es bald Parallelstruktur und eine Andeutung von Schieferigkeit, bald ein gröberes oder feineres ungleiches Korn, bald Abänderungen in der Struktur und mehr oder weniger reichliche Einschlüsse von Bruchstücken fremder Gesteine aufweisen kann.

Beispiel. In einem Falle war aus größeren Gesteinsblöcken und wohl auch durch seichte Schürfe die Anwesenheit eines für Dekorationszwecke geeigneten Gesteines erkannt und ein Pachtvertrag zu seiner Ausnutzung an einer bestimmten Stelle auf eine längere Reihe von Jahren abgeschlossen worden. Nach Eröffnung des Steinbruches stellte es sich heraus, daß das Gestein von einer Unzahl Haarrisse durchzogen war und deshalb nur einen geringen Prozentsatz brauchbares Material ergab. Der Steinbruch war zeitweise ohne Erträgnis, ja erforderte Zubuße. Eine geologische Karte würde gezeigt haben, daß der Punkt innerhalb einer breiten

Störungszone im Gebirgsuntergrund lag und die Gesteinsbeschaffenheit dort so sein mußte, wie sie später erkannt wurde.

b) Das Studium der schon vorhandenen Gesteinsaufschlüsse einer Gegend wird zunächst in den Stand setzen, alle vorerwähnten, aus den Karten herausgelesenen Verhältnisse an den gebotenen größeren Gesteinsbruchflächen zu prüfen und eingehender zu ergründen, namentlich auch Beobachtungen über den Erhaltungszustand des Gesteins an alten Steinbruchwänden, an welchen längere Zeit nicht gebrochen worden ist, anzustellen. Der Beobachter wird weiterhin aber auch in die Lage versetzt werden, bestimmte, in jenen Aufschlüssen gewonnene Erfahrungen direkt zu verwerten, indem die Notwendigkeit vorliegen kann, daß gewisse geologische Phänomene auch in dem aufzuschließenden Gelände vorhanden sein müssen oder nicht vorhanden sein können. So wird der Verlauf von Störungszonen im Gebirge, ferner von Gängen auf Grund ihrer mittels Kompaß festgestellten Richtung ohne weiteres zu bestimmen sein. Es wird aus einem Aufschluß direkt abzuleiten sein, ob eine besonders wertvolle Gesteinsschicht in dem zu eröffnenden Bruch erwartet werden darf oder nicht.

Beispiel. In einem Falle galt es, den Wert einer Grundstücksfläche festzustellen, unter welcher aus geologischen Gründen ein technisch kostbares Gesteinslager in großer Mächtigkeit auftreten mußte, welches aber, von mächtigeren jüngeren Schichten verhüllt, nicht aufgeschlossen war und durch Probeschürfe nicht erschlossen werden durfte. Die zu beiden Seiten liegenden Steinbrüche zeigten eine in eine Linie fallende Störungszone von mehreren Metern Breite, in der das Gestein kleinstückig und deshalb unverwertbar war und als Abfall kostspielig entfernt werden mußte. Diese Zone mußte durch das fragliche Gesteinslager hindurchgehen und in Ansatz gebracht werden. Die Wertschätzung des Grundstücks fiel unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse um viele tausend Mark niedriger aus, als es ohne sie geschehen wäre.

c) Die Versuchsschürfe dürfen nicht in einer geraden Linie hintereinander angelegt und müssen bis zum Eintritt völlig frischen Gesteins vertieft werden. Bei Anlage dieser Probelöcher können nun direkte Ermittlungen angestellt werden. So erhellt aus ihnen sofort, welche Mächtigkeit der zu entfernende Abraum besitzt, ob er sich nebenher verwerten lassen wird, ob er mit Spaten und Schaufel, oder mit Spitzhacke und Brechstange, oder gar mit Sprengmitteln gelöst werden muß, ob er an allen Seiten gleich dick erscheint oder in einer Richtung an Mächtigkeit zunimmt. Ein Kostenanschlag für die Wegschaffung des nach seiner Menge zu berechnenden Abraumes wird aufzustellen sein. (Diese Kostensumme wird vielfach für ein Aufgeben weiterer Arbeiten entscheiden.) Andere direkte Beobachtungen erstrecken sich auf die Wasserführung der Gesteinsmassen, auf die Mög-

lichkeit von Erdrutschungen und Bergstürzen. Sodann wird durch sie erörtert, ob sich das Gestein in der angenommenen Beschaffenheit wirklich über größere Flächen gleichartig erstreckt oder nicht, ob es mit anderen Gesteinen wechsellagert etc. etc.

Ist das frische Gestein an mehreren Stellen erreicht, so wird durch das Studium von möglichst vielen Proben ein allgemeines Bild von der Beschaffenheit der Felsart zu erlangen sein. Es wird sich herausstellen, ob seine Farbe und Struktur gleichartig ist oder ob Flecken und Adern vorkommen. Durch die genannten Eigenschaften wird seine Verwertbarkeit als Bau- und Dekorationsstein erhöht oder vermindert werden können. Auf Farbbeständigkeit läßt sich aus der Menge von eingesprengten Eisenmineralien (Eisen-, Kupferkies etc.) schließen. An der Hand von mikroskopischen Präparaten, die aus abgeschlagenen Gesteinssplittern herzustellen sind, wird der Geolog aus der Ausbildungsform, der gegenseitigen Lagerung und Verknüpfung der Gemengteile etc. von vornherein Schlüsse auf die Festigkeit des Gesteins, aus der Anwesenheit besonderer Mineralien auf Verwitterbarkeit, ferner Schlüsse auf starke Beeinflussung durch Gebirgsdruck etc. ziehen können. Des weiteren ergibt sich, ob ein Gestein gleichmäßig in Beschaffenheit ist oder ob es festere und weichere, weniger witterungsbeständige Stellen enthält, wodurch während der Benutzung Buckel, Rippen und Nähte oder Löcher und Vertiefungen entstehen müssen. Auch über die Lagerungs- und Absonderungsverhältnisse eines Gesteins wird Aufschluß erhalten. Es läßt sich feststellen, welche Neigung die Gesteinsbänke haben, ob die Schichten, wenn es in solchen auftritt, in einen Berg hinein oder von ihm weg fallen, ob sie gerade, gebogen oder gefaltet sind, ob das Gestein von anderen jüngeren Gesteinen gangförmig durchbrochen erscheint, ob und in welcher Verbreitung konzentrisch-schalige, plattige, säulige Absonderungsformen vorkommen. Blöcke werden namentlich bei größerer Entfernung der Lose voneinander hervorgehen, deren Verlauf schon an mehreren Stellen beobachtet werden kann und aus deren Richtung und Zahl man auf das Vorhandensein von „faulen Wänden", „Zwängen" oder „Riegeln" im Gebirge schließen kann. Von den gewonnenen frischen Gesteinsbruchstücken können im Bedarfsfalle Proben zu mechanischen Untersuchungen in einer Prüfungsanstalt für Baumaterialien, bei natürlichen Düngemitteln, wie Phosphorit, Gips, bei Verbindungsmaterialien, wie Kalkstein, Mergel etc., für chemische Analysen ausgewählt werden, wenn schon mit Vornahme dieser immerhin mit Kosten verbundenen Prüfungen in der Regel wohl bis zu einem späteren Zeitpunkt gewartet werden wird. Dagegen wird man durch kleinere Versuche Aufschluß über die Politurfähigkeit des Materials, Verwertbarkeit als Schleifmittel etc. erhalten können. Mit Hilfe von Versuchsschürfen kann man auch die Mächtigkeit von steilstehenden Gesteinsgängen feststellen. Un-

erläßlich ist es, frische Bruchstücke des Gesteins mindestens ein Jahr der Witterung ausgesetzt liegen zu lassen und sie darnach einer erneuten Prüfung zu unterziehen. Es wird sich herausstellen, ob die Frische der Bruchflächen gelitten, die Farbe sich verändert hat, ob irgendwelche Zersetzungserscheinungen bemerkbar geworden sind, und ein Schluß wird zu ziehen sein auf die Qualifikation des Gesteins zum Bau-, Dekorations-, Straßenstein etc.

Die hier berührten Fragen haben in vielen Fällen nach kostspieligen Aufschlußarbeiten in größerem Stile später zur Einstellung des Bruches geführt. Die Anlage von Probeschürfen würde eine vergleichsweise unwesentliche Ausgabe verursacht haben.

B e i s p i e l. In einem Falle waren oberhalb eines Granitfelsanschnittes in einer geraden Linie zwei etwa 30 m voneinander entfernte Probeschürfe angelegt worden, und sie hatten bis zu etwa 6 m Tiefe gelbbraunen Verwitterungsgrus erschlossen. Der kiesige Grus wurde für zersetzten Granit gehalten, aus seiner Mächtigkeit auf eine den Abbau vereitelnde Dicke des Abraums geschlossen und von der Eröffnung eines Steinbruches Abstand genommen. Die Schürfe hatten aber einen tief verwitterten, im Granit aufsitzenden Diabasgang getroffen, dessen Verwitterungsprodukte denen des Granits ähneln. Wären die Probeschürfe an den Ecken eines Dreiecks angelegt worden, so würde man mit einem von ihnen den nur seicht verwitterten Granit von vorzüglicher Beschaffenheit erschlossen haben, und das Steinbruchsland hätte günstig verwertet werden können.

An Stelle der Versuchsschürfe werden bisweilen V e r s u c h s s t o l l e n am Platze sein. B o h r l ö c h e r werden namentlich bei der Untersuchung von Gesteins l a g e r n (bei Eruptivgesteinen also Decken, Ströme, Lagergänge, bei Absatzgesteinen Schichten), deren Höhenausdehnung vermutlich gering sein kann und die, wie die Kalksteineinlagerungen es gern tun, auskeilen können, am Platze sein. Die Bohrungen ergeben die Mächtigkeit des Lagers an einem Punkte, dann auch die Längen- und Breitenausdehnungen, ferner den Einfallswinkel, klären über die Gleichmäßigkeit in der Gesteinsbeschaffenheit auf etc. Aus den Bohrproben sind Splitter für chemische und petrographische Untersuchungen auszuwählen.

T e r r a i n v e r h ä l t n i s s e. Die Gestalt, welche ein Steinbruch schließlich annehmen wird, die Art der Förderung des gebrochenen Materials, der Zugang der Arbeiter zu den Bruchstellen, der Weg, das Bruchwasser zu entfernen, richten sich in der Hauptsache nach der Terrainbeschaffenheit des Steinbruchgebietes. Am günstigsten werden die Verhältnisse natürlich dann liegen, wenn der Steinbruch an einem s t e i l e r e n G e h ä n g e angelegt, oder wenn eine senkrechte Uferfelswand ohne weiteres in Angriff genommen werden kann. In ersterem Falle wird der Techniker bei stockförmigen (Granit, Syenit), und vielfach auch bei deckenförmigen Eruptivgesteinen (Quarz-

porphyr) von vornherein ein rechtsinniges Einfallen der Bänke zu erwarten haben. An solchen Punkten sind alle Lasten, wie Abraum, Abfall, rohe Blöcke und fertige Waren bergab zu transportieren und wirken dabei durch ihre eigene Schwere als bewegende Kraft. Auf Schienengeleisen mit geringem Fall sind hier gefüllte Lowries mit Leichtigkeit aus dem Bruche herauszutransportieren (Feldbahnen). Das Bruchwasser kann durch Gräben abgeleitet werden.

In schwach geneigtem Terrain wird zu dem eigentlichen Steinbruch ein Einschnitt, unter Umständen ein Stollen zu führen sein, auf welchem der Zugang, die Abfuhr des Fördergutes und der Abfluß des Wassers erfolgen. Der Steinbruch wird zu einer zirkusartigen Erweiterung. — Hüten wird man sich müssen, einen Steinbruch auf der Kuppe eines Hügels, der aus massigem Gestein besteht, anzulegen, da daselbst erwartet werden muß, daß die Gesteinsbänke nach allen Seiten hin vom Hügel abfallen, der Abbau sich also widersinnigem Einfallen gegenübergestellt sehen würde.

Anders gestalten sich die Verhältnisse in mehr oder minder ebenem Terrain. Hier bekommt der Steinbruch naturgemäß die Gestalt eines Kessels oder Trichters, zu dessen Sohle die Arbeiter auf einer schiefen Ebene, auf Leitern oder Fahrstühlen hinabgelangen, aus dessen Tiefe alle Lasten bergauf zu transportieren sein werden.

Kapitel 40.

Die Aufsuchung von Mergellagern.

In petrographischer Beziehung versteht man unter Mergel ein Gemenge von Ton und kohlensaurem Kalk, das die Eigenschaft besitzt, bei der Verwitterung an der Luft zu zerfallen. Als unwesentliche Beimengungen können darin noch Glimmer und Sand auftreten. In etwas anderem Sinne versteht der Landwirt unter Mergel alle losen oder an der Luft zerfallenden Bildungen, die vermöge ihres Kalkgehaltes zur Verbesserung des Bodens geeignet erscheinen. Da nämlich einer der wichtigsten Pflanzennährstoffe, der kohlensaure Kalk, wegen seiner Löslichkeit in kohlensäurehaltigem Wasser mit der Zeit den oberen Bodenschichten entführt und in die Tiefe gefördert wird, so ist es für die Ackerkultur nötig, den Kalkgehalt der Ackerkrume von Zeit zu Zeit zu erneuern. Zu diesem Prozesse der „Mergelung“ eignen sich also alle lockeren Bildungen, deren Kalkgehalt eine gewisse Grenze nicht untersteigt, ohne daß es dabei darauf ankommt, welche Beimengungen das betreffende Gebilde enthält. Letztere dienen vielmehr nur zu einer genaueren Klassifikation der verschiedenen Arten des

Mergels, so daß man danach Kalkmergel, Sandmergel, Kiesmergel, Tonmergel und Lehmmergel unterscheidet. Für die Aufsuchung von Mergellagern kommt es also einzig und allein darauf an, lose oder wenigstens an der Luft zerfallende Gesteine mit einem Kalkgehalt von mindestens 10 bis 20 Prozent nachzuweisen. Im folgenden sollen zunächst die in den einzelnen Formationen auftretenden Mergellager untersucht und hierauf die Art und Weise ihrer Ablagerung beschrieben werden.

Das Alluvium enthält eine ganze Anzahl von Bildungen allerverschiedensten Kalkgehaltes, die zur Ackermelioration geeignet erscheinen. Das kalkreichste von ihnen ist der Kalktuff oder Gehängekalk, dessen Entstehung vielfach schon zur Diluvialzeit begonnen hat und an vielen Stellen noch heute fortdauert. Wo an Gehängen starke Quellen heraustreten, die während ihres unterirdischen Laufes Gelegenheit hatten, sich mehr oder weniger mit kohlensaurem Kalke zu sättigen, da sind die Bedingungen für die Entstehung von Kalktufflagern gegeben. Die in raschem Laufe den Abhang hinabfließenden Wasser verlieren bei der Berührung mit der Luft, die umso inniger ist, je schneller das Wasser fließt und je mehr Kaskaden es bildet, einen Teil ihrer Kohlensäure und damit die Fähigkeit, den Kalk in Lösung zu behalten. Dieser fällt vielmehr aus und setzt sich an die in dem Wasser wuchernden Pflanzen oder bei feinerer Verteilung des Quellwassers an die auf dem überrieselten Boden wachsenden Gräser und Pflanzen, überrindet sie und bildet mit der Zeit durch Verschmelzung der einzelnen Inkrustationen Bänke, aus deren Oberfläche die Spitzen der inkrustierten Gewächse zum Teil weiterwachsen. Es entsteht eine dünne Bank nach der anderen, bisweilen unterbrochen durch dünne Humusstreifen oder durch kalkreiche Ockerbildungen. So können allmählich von den Gehängen her ganze Täler oder Becken mit Kalktuff von großer Mächtigkeit ausgefüllt werden, wie letzteres vielfach im Gebiete des Thüringer Muschelkalks der Fall ist.

Die Struktur des Kalktuffs ist eine sehr wechselnde, indem er bald feste Bänke, die oft als Bausteine Verwendung finden können, bald wieder ein lockeres, leicht zerstörbares Haufwerk bildet, welches letztere infolge dieser Eigenschaft am besten für landwirtschaftliche Meliorationszwecke geeignet ist. Die Färbung des Kalktuffs ist eine sehr mannigfaltige und schwankt zwischen hellem Grauweiß und tiefstem Schwarz mit Übergängen zu Gelb und Braun, je nach Art und Menge der meist nur in ganz geringfügigen Massen vorhandenen organischen Substanzen, Eisen- oder Manganverbindungen. Der Gehalt des Kalktuffes an kohlensaurem Kalk beträgt meist 93—98 Prozent, ist also ein ganz außerordentlich hoher.

Alle Kalkmassen, die nicht als Kalktuff von den Quellen ausgeschieden werden, sondern in langsamer fließendes Wasser hineingelangen, finden zum Teil ihr Ende auf dem Boden von Seen, wo sie teils als chemischer Nieder-

schlag, d. h. in Gestalt von mikroskopisch kleinen Rhomboederchen zu Boden sinken, teils von tierischen und pflanzlichen Organismen aufgenommen und nach deren Absterben am Grunde des Beckens abgelagert werden. Die so entstandenen kalkigen Bildungen werden in den verschiedenen Gegenden verschieden bezeichnet: Seekreide, Wiesenmergel, Wiesenkalk, Süßwasserkalk, Alm, Schneckenmergel werden am häufigsten gebraucht. Die heutige Wissenschaft bezeichnet die überwiegende Mehrzahl dieser Bildungen als Faulschlamm. Seine Entstehung geht nicht nur in noch heute vorhandenen Seen vor sich, sondern hatte auch in der Vorzeit in zahllosen Seen statt, welche heute durch Vertorfung als Wasserbecken völlig verschwunden und in Torfmoore verwandelt sind. Je nach der Art und der Masse der Beimengungen, die gleichzeitig mit der Kalkausscheidung auf dem Grunde des Beckens abgelagert wurden, ist die petrographische Beschaffenheit der Wiesenmergel eine verschiedene und ihr Kalkgehalt danach ein schwankender. Oft sind gleichzeitig mit dem Kalk den Becken große Mengen von feinem Tonschlamme zugeführt; aus deren Vermischung entstehen dann alle möglichen Übergangsbildungen zwischen Wiesenkalk und Tonmergel, bei denen es häufig schwierig ist, ohne chemische Untersuchung von vornherein festzustellen, welchem von diesen zwei Gesteinen man das betreffende Gebilde zuzuweisen hat. Im allgemeinen wird man kalkig-tonige Bildungen, die also Mergel im strengsten Sinne des Wortes sind, bei überwiegendem Kalkgehalt zur Wiesenkalkgruppe, bei überwiegendem Tongehalt dagegen zur Tonmergelgruppe stellen. Oft besitzen diese Gebilde einen großen Reichtum an Muscheln und Schneckenschalen und mehr oder weniger zerriebenen Bruchstücken derselben, so daß sie auch mit dem oben angeführten Namen Schneckenmergel, auch wohl als „Muschelkalk" bezeichnet werden. Zu diesen tierischen Beimengungen kommen solche aus dem Pflanzenreiche: abgestorbene Rhizome von Schilf und anderen Wasserpflanzen, die in dem Mergellager selbst wurzelten, eingeschwemmte Blätter und Holzstücke, die zu Boden gesunken und in dem Schlamme eingebettet sind (letztere bisweilen zur Vivianitbildung Veranlassung gebend); ferner Sandkörner von verschiedener Korngröße, die teils durch das fließende Wasser, teils durch den Wind in das Becken eingeführt sind.

Im Gegensatz zu diesem im tieferen Wasser abgelagerten Kalke stehen die meist auf die Oberfläche flacher, nur periodisch überstauter Alluvialbecken beschränkten Kalkbildungen, die man mit dem Namen Moormergel bezeichnet. Man versteht darunter ein Gemenge von Moorerde und Kalk, wobei unter Moorerde selbst wiederum ein Gemenge aus Humus mit sandigen oder tonigen Substanzen begriffen wird. Wie die Moorerde, so bildet auch der Moormergel nur dünne Schichten auf der Oberfläche großer Flußtäler und alter, durch Verlandung vollkommen ausgefüllter Seebecken, die an

und für sich einen sehr niedrigen Grundwasserstand besitzen und infolgedessen in Perioden großer Feuchtigkeit regelmäßig flach überstaut werden. Entweder bildet der Moormergel ausgedehnte Flächen, d. h. die ganze Moorerdefläche ist mit einem Kalkgehalt durchsetzt, oder er bildet innerhalb der Moorerdefläche kleinere oder größere Nester von meist ziemlich scharfer Begrenzung. Der Kalkgehalt des Moormergels beträgt gewöhnlich 5 bis 25 Prozent, doch geht er bisweilen auch höher und dann finden sich, durch humusreichen Wiesenkalk hindurch, Übergänge zu reinem Wiesenkalk. Auch tritt der letztere in Moormergelgebieten sehr häufig in Form von ganz dicht unter der Erdoberfläche liegenden, meist wenig ausgedehnten Nestern auf.

Bei den im Diluvium auftretenden Mergellagern müssen wir unterscheiden zwischen dem norddeutschen Glazialgebiete und den übrigen nicht vergletschert gewesenen Teilen Deutschlands. In letzteren sind die Mergellager im großen und ganzen beschränkt auf die Kalktuffbildungen, die in gleicher Weise entstanden sind, wie die des Alluviums, und auf den Löß. Erstere spielen vor allem in den kalkreichen Triasgebieten eine wichtige Rolle. Oft erlangen sie eine solche Festigkeit, daß sie als Bausteine gebraucht werden können, doch kommen auch dann fast immer noch weiche Zwischenlagen vor, die vielfach als Meliorationsmittel ausgehalten werden.

Im Gebiete des norddeutschen Diluviums findet sich eine große Mannigfaltigkeit von Mergeln, da das gesamte von dem skandinavischen Inlandeise nach Deutschland transportierte Material aus dem säkularen Verwitterungsschutte eines Gebietes besteht, in welchem kristalline und kalkige Gesteine in der Oberflächenverbreitung einander ziemlich die Wage halten dürften. Da nun außerdem noch ungeheure Massen von Material aus dem baltischen Kreidegebiete in die Grundmoräne jenes Inlandeises aufgenommen sind, so kommt es, daß alle glazialen Bildungen des Diluviums von vornherein kalkhaltig waren. Dieser Kalkgehalt aber war in den verschiedenen Bildungen ein sehr verschiedener und zwar läßt sich im allgemeinen als Regel aufstellen, daß er in den mittelkörnigen Sanden am geringsten, in den Mergelsanden und Tonmergeln am höchsten ist, während die eigentliche Grundmoräne eine Mittelstellung einnimmt. Dasselbe Verhältnis findet sich auch innerhalb der nach der Korngröße getrennten Bestandteile der Grundmoränen selbst, indem auch bei ihnen der Kalkgehalt im Sande am kleinsten, im Tone am größten ist.

Dieser ursprünglich in sämtlichen Schichten vorhandene Kalkgehalt hat seit ihrer Ablagerung eine bedeutende Veränderung erfahren, indem er von der Oberfläche her bis zu wechselnder Tiefe durch die Atmosphärilien in Lösung übergeführt und entweder in größeren Tiefen wieder abgesetzt oder von den Wassern entführt ist. Diese Entkalkung, durch welche der Geschiebemergel in Lehm, der Tonmergel in Ton und der Mergelsand in

Schluffsand verwandelt wurde, ist in den verschiedenen Gebieten des norddeutschen Diluviums eine sehr verschiedene: während sie in manchen Teilen des baltischen Höhenrückens und des Küstenlandes 4—5 m beträgt, sinkt dieser Wert in anderen Gebieten auf 1—2 m und in noch anderen, wie z. B. Teilen Ostpreußens und der Uckermark, auf weniger als ½ m. Für die Aufsuchung von Mergellagern in Norddeutschland ist dieser Umstand natürlich von höchster Bedeutung.

Neben den eigentlichen Glazialbildungen enthält das Diluvium noch sehr zerstreut andere kalkreiche Bildungen, die entweder altdiluvial, d. h. in der Zeit vor dem Herannahen der ersten Vergletscherung, oder interglazial, d. h. in der Zeit zwischen zwei Vergletscherungen zum Absatz gelangt sind. Unter diesen, meist in ebenen Gebieten abgelagerten Gebilden finden sich Mergel von ganz vorzüglicher Beschaffenheit, nämlich die diluvialen Süßwasserkalke, die vor allen Dingen in der Provinz Hannover und in der Mark Brandenburg eine ökonomisch wichtige Rolle spielen, wozu sie durch ihren hohen Kalkgehalt, ihr lockeres Gefüge und ihre meist bedeutende Mächtigkeit geeignet sind.

Mittel- und Süddeutschland hat mit den westlichen Teilen des norddeutschen Diluvialgebietes und mit Oberschlesien ein Gebilde gemeinsam, welches sich gleichfalls vorzüglich zur Mergelung eignet: den Löß. Er besitzt meist nur eine gering mächtige Verwitterungsrinde, hat einen Kalkgehalt bis zu 25 Prozent und zerfällt, da er nur sehr wenig plastischen Ton enthält, an der Luft sehr leicht.

Auch in der Tertiärformation finden sich in fast allen in Deutschland vertretenen Gliedern einzelne Ablagerungen, die zu Mergelungszwecken geeignet sind und dazu Verwendung finden, wenn sie auch nie die Bedeutung der Quartärmergel erlangen können. Das wird schon durch den Umstand verhindert, daß die Tertiärschichten in den weitaus meisten Gebieten unter jüngeren Ablagerungen verborgen sind und infolgedessen schon die Menge des Abraumes eine Ausgewinnung unmöglich macht. Am ärmsten an Mergellagern ist das Miozän, da es im größten Teile Deutschlands nur aus Bildungen der Braunkohlenformation besteht, welche fast vollkommen frei von kohlensaurem Kalk sind. Auch das marine Miozän Holsteins enthält keine Mergellager, und das einzige vielleicht hierher gehörige Gebilde findet sich bei Gühlitz in der Priegnitz.

Anders schon ist es im Oberoligozän, welches in Deutschland fast nur aus marinen Bildungen besteht. Es enthält vorzügliche Mergellager in der Altmark bei Wiepke und im nordwestlichen Deutschland in der Gegend zwischen Hildesheim und Osnabrück. Alle diese Mergellager sind außer durch ihren Kalkgehalt noch durch einen hohen Glaukonitgehalt ausgezeichnet, dem sie ihre grünliche Färbung verdanken. Der Umstand, daß

sie durch dieses Mineral eine Menge von Kali enthalten, welches in ziemlich leicht löslicher, für die Pflanzenernährung geeigneter Form auftritt, macht sie für Meliorationszwecke ganz besonders wertvoll. Auch ein nicht unbedeutender, wohl an Phosphorit gebundener Phosphorsäuregehalt ist vielen Glaukonitgesteinen eigen. Oberoligozänen Alters sind ferner die weitverbreiteten Cyrenenmergel im Gebiete des rheinischen Tertiärs.

In vielen Gebieten besitzt das über weite Flächen verbreitete Gebilde des Mitteloligozäns, der Septarienton, einen derartigen Kalkgehalt (20 bis 29 Prozent), daß er zu Mergelungszwecken verwendet wird; nur steht dabei der Umstand etwas hindernd im Wege, daß dieses Gestein infolge seines hohen Gehalts an plastischem Ton nicht leicht zerfällt und erst durch mehrfaches Durchfrierenlassen gelockert werden muß.

Das Unteroligozän (Eocän?) besteht wieder zum großen Teil aus einer kalkfreien Braunkohlenformation oder aus Grünsanden und nur das Petroleum führende brackische Oligozän des Elsaß enthält graue Mergel.

Kreide. Außerordentlich reich an Mergellagern der verschiedensten Art ist die Kreideformation und in dieser wiederum die obere Abteilung, das Cenoman, Turon und Senon. In der unteren Kreide spielen glaukonitische Wealdenmergel in der Gegend von Lingen und die im nordwestlichen Deutschland verbreiteten Flammenmergel an der oberen Grenze des Gault die wichtigste Rolle, während im Cenoman, Turon und Senon die Mergellager so zunehmen, daß fast überall, wo diese Formation auftritt, sie auch bauwürdige Mergel enthält. Diese Mergel der Kreide sind entweder etwas tonig, von grauer oder durch Glaukonit grünlicher Farbe (letztere Glaukonitmergel genannt) oder feinerdig, von rein weißer Farbe und dann als Kreidemergel bezeichnet. Zu den verbreitetsten Arten von Kreidemergel gehören die Plänermergel und die grauen, von dunkleren Adern durchzogenen Flammenmergel, sowie schließlich als Endglied der Reihe die aus reinem kohlensaurem Kalke bestehende weiße Schreibkreide Norddeutschlands.

Jura. Auch die Juraformation enthält zahlreiche Mergellager. Im weißen Jura sind es vor allen Dingen die Münder Mergel im Purbeck, einzelne Mergelbänke im Kimmeridge und Portland des nordwestlichen Deutschland, sowie der hellgraue Kalkmergel des unteren weißen Jura in Schwaben. Der braune Jura ist nirgends reich an Mergelbänken und enthält nur vereinzelte, dünnere Mergellager, die mit Schiefertonen und zähen, fetten Tonen wechsellagern. Dagegen enthält der Lias wieder viele brauchbare Mergel. So werden im nordwestlichen Deutschland die Tonschiefer des oberen Lias in der Nähe der Stinkkalkbänke zu brauchbaren Mergellagern, in denen zahllose Gruben angelegt sind. Auch der mittlere Lias enthält zwischen Wesergebirge und Teutoburger Wald sehr kalkreiche, schwarze,

plattige Tonschiefer, die einen hohen Schwefelkiesgehalt besitzen. Auch der süddeutsche obere Lias enthält in den Jurensismergeln brauchbare Mergellager[1]).

Trias. In der oberen Stufe der Trias, dem Keuper, ist es vor allen Dingen die mittlere Abteilung, die fast überall, wo sie auftritt, aus roten und grünen, oft dolomitischen, meist Gips führenden Mergeln besteht. Auch im Muschelkalk sind brauchbare Mergel vorzugsweise in der mittleren Abteilung häufig, und nur hier und da werden die Nodosenbänke des oberen Muschelkalkes so tonig, daß sie als Mergel Verwendung finden können. In der unteren Trias, im bunten Sandstein, ist die untere und mittlere Abteilung ziemlich frei von Mergellagern und gehört im Gegenteil fast überall zu den besonders mergelbedürftigen Gesteinen; nur die obere Abteilung, der Röt, enthält in ihrem oberen Teile, in den Übergangsbildungen zum unteren Muschelkalke, vereinzelte Kalk- und reichlichere Gipsbänke.

Mit der unteren Grenze der mesozoischen Schichtengruppe sind wir auch am Ende der mergelreichen Formationen angelangt, da die paläozoische Schichtenfolge an solchen außerordentlich arm ist. Im deutschen Silur fehlen Mergellager vollständig, ebenso im unteren Devon. Im mittleren Devon sind die Schichten mit Calceola sandalina in der Eifel, im oberen Devon die grünlichgrauen Mergelschiefer (Goniatitenschiefer) und die Cuboidesmergel des Eifelgebietes als Mergellager brauchbar.

In der Kulm- und Steinkohlenformation und im Rotliegenden fehlt Mergel vollständig, während der Zechstein wieder sowohl in seiner oberen wie mittleren und unteren Abteilung in vielen Gegenden, beispielsweise in der Wetterau, im Spessart und in Thüringen, mergelige Schieferletten und echte Kalkmergel enthält.

Die archäische Formationsgruppe enthält überhaupt keine Mergellager.

Die nachfolgende Zusammenstellung (S. 406—409) gibt in tabellarischer Form eine Übersicht über die Verteilung der Mergelvorkommnisse der einzelnen Formationen auf die verschiedenen Landschaften des Deutschen Reiches.

Bei der Aufsuchung von Mergellagern muß man als wichtigsten Gesichtspunkt festhalten, daß die Verwendung dieses Gesteins jede kostspielige Gewinnungsmethode ausschließt. Ablagerungen also, die nur bergmännisch ausgebeutet werden können oder deren Gewinnung im Tagebau entweder infolge zu großen Abraumes, oder wegen ungünstiger Lagerungsverhältnisse, oder wegen großer zudringender Wassermassen mit erheblichen

[1]) A. Denckmann, Über das Vorkommen von Mergel in den mesozoischen Schichten einiger Gegenden Nordwest- und Mitteldeutschlands. Zeitschrift f. prakt. Geol. 1898, S. 112.

Vorkommen von Mergel in Deutschland.

Gegend	Paläozoikum	Trias	Jura	Kreide	Tertiär	Quartär
Nordöstliches Deutschland (Ost- und Westpreußen, Posen, Hinterpommern)	—	—	—	Kreidemergel des Turon und Senon.	Septarienton.	—
Vorpommern und Mecklenburg	—	—	—	Cenomane, turone und senone Kreidemergel.	Septarienton.	Geschiebemergel.
Schleswig-Holstein	Rote Mergel von Lieth.	—	—	Senone Kreidemergel.	Septarienton.	Tonmergel und Mergelsand.
Mark Brandenburg	—	Mittlerer Muschelkalk von Rüdersdorf.	—	Senone Kreidemergel der Uckermark.	Septarienton. Miozän von Gühlitz.	Süßwasserkalk.
Schlesien	—	Mittlerer Muschelkalk. Oberer Keuper.	Schichten des Ammonites macrocephalus und cordatus.	Bakulitenmergel von Friedeck. Turonmergel von Oppeln. Mergel mit Amm. rhotomagensis. Mergel mit Belemn. mucronata.	—	Kalktuff, Wiesenkalk, Wiesenmergel, Moormergel des Alluvium.
Königreich Sachsen	Oberer Zechstein.	—	—	Plänermergel.	—	Löß. Geschiebemergel. Süßwassermergel. Kalktuff und Süßwasserkalk (Wiesenkalk) des Alluvium.

Provinz Sachsen (östl. Teil)	—	Mittlerer Muschelkalk. Mittlerer Keuper.	Posidonienschiefer.	Hilsmergel. Emscher Mergel. Senonmergel.	Septarienton. Oberolig. Glaukonitmergel von Wiepke. Kalkmergel der Priegnitz.	Geschiebemergel. Löß. Mergelsand. Wiesenkalk. Moormergel.
Thüringen	Letten des unteren und oberen Zechsteins.	Oberster Röt. Unterster Wellenkalk. Mittlerer Muschelkalk. Nodosenschichten. Mittlerer Keuper.	—	—	—	Löß. Kalktuff.
Südl. Hannover mit Braunschweig u. Lippe	—	Rötmergel. Mittlerer Muschelkalk. Mittlerer Keuper.	Mittlerer Lias zwischen Wesergebirge und Teutoburger Wald. Posidonienschiefer Münder Mergel des Deistergebirges.	Glaukonitmergel des Gault. Cenomanschichten mit Turrilitis costatus. Fast sämtliche Schichten des Senon.	—	Löß. Geschiebemergel. Kalktuff.
Nördl. Hannover und Oldenburg	—	—	—	Wealdenmergel. Hilsmergel. Gaultmergel. Plänermergel. Senone Kreide.	Tonmergel bei Lingen. Oberoligozäne Glaukonitmergel.	Tonmergel, Geschiebemergel, Süßwasserkalk } des Diluvium. Wiesenkalk, Moormergel } des Alluvium.
Westfalen	—	Mittlerer Muschelkalk. Unterer und mittlerer Keuper.	Wie in Südhannover.	Plänermergel.	Oberoligozäne Glaukonitmergel.	Kalktuff.

Vorkommen von Mergel in Deutschland.

Gegend	Paläozoikum	Trias	Jura	Kreide	Tertiär	Quartär
Rheinprovinz	Schichten der Calceola sandalina im Mitteldevon; Goniatitenschiefer und Cuboidesmergel im Oberdevon der Eifel.	Graue Mergelschiefer des unteren Muschelkalkes. Mergel des unteren und mittleren Keupers.	—	—	—	Löß. Kalktuff.
Hessisches Bergland	Letten des mittleren und oberen Zechsteins.	Rote Mergel im oberen Röt. Mittlerer Muschelkalk. Nodosenschichten. Mittlerer Keuper.	—	—	—	Löß.
Pfalz und Großherzogt. Hessen	—	Mittlerer Muschelkalk.	—	—	Cyrenenmergel des Mainzer Beckens.	Löß.
Elsaß-Lothringen	—	Mittlerer Keuper.	Numismalis- und Margaritatusmergel des mittleren Lias. Posidonienmergel. Torulosus-, Sowerbyi-, Giganteus- u. Blagdenimergel des Dogger.	—	Cyrenenmergel.	Löß.
Baden	—	Unterer und mittlerer Muschelkalk. Mittlerer Keuper.	Numismalismergel des Lias. Variansmergel des Dogger.	—	Molassemergel und Süßwasserkalke.	Löß.

Württemberg	—	Mergelschiefer des Wellenkalkes. Mittlerer Muschelkalk. Gipsmergel des unteren Keupers. Bunter Mergel des mittleren Keupers. Zanclodonmergel des oberen Keupers.	Einzelne Mergelbänke in fast allen Horizonten des Lias. Brauner Jura: unterster α, γ. Weißer Jura: unterster α, einzelne Bänke von γ u. δ, unterster ζ.	—	Einzelne Bänke der Meeresmolasse. Steinheimer Süßwasserkalk. Untere Süßwassermolasse.	Löß. Süßwasserkalk. Kalktuff.
Nordbayern	—	Mittlerer Muschelkalk. Unterer Gipskeuper. Mittlerer Keuper.	Amaltheen- und Costatenschichten des mittleren Lias. Radiansmergel des oberen Lias. Opalinusmergel und Ornatentone des Dogger. Mergellager im unteren weißen Jura.	Einzelne Mergelbänke im Turon und Senon.	—	Löß. Süßwasserkalk. Kalktuff.
Südbayern	—	Raibler Schichten. Mergel der Zone der Avicula contorta.	Graue Mergelschiefer des Lias im Allgäu. Aptychenschichten des Malm.	Neokommergel. Gaultmergel. Senonmergel. Mucronatenmergel der oberen Kreide.	Mergelschiefer des Flysch. Molassenmergel von Peißenberg und Miesbach. Obere Süßwassermolasse.	Löß. Kalktuff. Seekreide.

Unkosten verknüpft sein würde, sind von vornherein ausgeschlossen. Es ergibt sich daraus ganz von selbst, daß nur die unmittelbar an der Tagesoberfläche liegenden oder nur von unbedeutendem Abraum überlagerten Schichten als abbauwürdige Mergellager in Betracht kommen können. Wird dem Geologen die Aufgabe gestellt, in einem ihm bisher unbekannten Gebiete der Landwirtschaft brauchbare Mergellager zu erschließen, so wird er in erster Linie danach zu trachten haben, über dessen geologische Verhältnisse einigermaßen zur Klarheit zu gelangen. Es gibt heutzutage in unserem Vaterlande wohl kein größeres Gebiet mehr, welches geognostisch so wenig durchforscht wäre, daß man seine Verhältnisse, wenigstens in den gröberen Zügen, nicht leidlich kennte, und ebenso sind auch die bis jetzt existierenden geologischen Karten ausreichend, um den Beobachter von vornherein in den Stand zu setzen, sich ein allgemeines Bild der in einer Gegend auftretenden geologischen Formationen zu machen. Mit ihrer Hilfe wird es dem Geologen leicht werden, zunächst einmal festzustellen, welche Formationen in dem seiner Untersuchung zugeteilten Gebiete auftreten, und welches im allgemeinen ihre räumliche Ausbreitung ist. Man wird nun von vornherein darauf verzichten, solche Formationen, die als sehr arm oder ganz frei von Mergellagern bekannt sind, näher zu untersuchen (Cambrium, Silur, Karbon, Buntsandstein) und sich auf diejenigen zu Tage tretenden Gebirgsglieder beschränken, in denen die Möglichkeit oder Wahrscheinlichkeit der Mergelführung angenommen werden kann. Da die Mehrzahl der Formationen eine Gliederung besitzt, die mit ziemlicher Gleichmäßigkeit über größere Flächenräume hinweg verfolgt worden ist, so wird es in sehr zahlreichen Fällen sogar von vornherein sich genau feststellen lassen, auf welche Horizonte man besonders zu achten hat. Befindet man sich beispielsweise in einem Gebiete, welches hauptsächlich von den Gebilden der Trias eingenommen ist, deren einzelne Glieder horizontal übereinander liegen und von ausgedehnten Talzügen durchfurcht sind, so wird man die Sandsteingebiete der unteren Trias von vornherein ausschließen und zunächst die Talgehänge untersuchen, an denen die Grenzbildungen zwischen den hellen Kalkbänken des unteren Muschelkalkes und den rotgefärbten Schichten des obersten Röt auftreten. Ein zweites Mergelniveau wird man sodann anzutreffen erwarten können in den weichen Bänken über dem Wellenkalk, ein drittes, noch höheres, in den Nodosenkalken des oberen Muschelkalkes und endlich ein viertes in den jüngsten Triasbildungen, in den gipsreichen bunten Mergeln des mittleren Keupers. Wir sind also darnach in der Lage, die Aufsuchungsarbeit auf ganz bestimmte Höhenlagen der Talränder oder der Hochflächen einzuschränken, und können weite dazwischen liegende Gebiete gänzlich unberücksichtigt lassen, und genau so wie bei der Trias verhält es sich auch bei der Mehrzahl der anderen Formationen.

Bei der Aufsuchung dieser einzelnen mergelführenden Horizonte hat man sich derselben Methode zu bedienen, die in den Kapiteln über die Aufnahme geologischer Karten angegeben sind, d. h. man wird in erster Linie künstliche und natürliche Aufschlüsse, Steinbrüche, Gruben, Steilränder von Tälern und Wasserrissen untersuchen und so feststellen, ob in den bezüglichen mergelführenden Horizonten abbauwürdige Lager auftreten. Die physikalische Beschaffenheit der in den älteren Gebirgsgliedern eingeschlossenen Mergellager bietet in sehr vielen Fällen eine äußerst bequeme Handhabe zur Erkennung dieser Lager. Die Eigenschaft des Mergels nämlich, beim Liegen an der Luft zu verwittern und in kleine Bröckchen zu zerfallen, macht sich selbstverständlich auch da geltend, wo er an natürlicher Lagerstätte auftritt, und so kommt es, daß die Mergellager in vielen Fällen der Verwitterung weit mehr zugänglich sind, als die drüber und drunter lagernden härteren Gebirgsschichten; infolgedessen bilden die Flächen, in denen Mergellager zu Tage ausstreichen, oft ganz flache Ebenen oder nur ein schwach wellig bewegtes Gelände, welches nach oben und unten von mehr oder weniger scharf abgesetzten Terrassen begrenzt wird, deren Entstehung auf dem erwähnten Unterschiede in der Verwitterbarkeit zwischen den Mergeln und den sie einschließenden Sandsteinen oder Kalksteinen beruht. Ganz besonders tritt diese Eigenschaft bei den oft ziemlich mächtigen Mergeln des mittleren Muschelkalkes zu Tage, deren nächste Überlagerung, der Trochitenkalk, gewöhnlich ein mehr oder weniger zusammenhängendes Klippenband in den flach geneigten Feldern bildet, während der ihn unterlagernde Wellenkalk auch seinerseits schärfere Terrainformen liefert. Anderseits macht freilich das Auftreten der Mergellager in derartigen Ebenen oder gar in flachen Mulden die Entstehung natürlicher Aufschlüsse zu den Seltenheiten, und da ferner eine, durch ungemessene Zeiträume hindurch fortwirkende Verwitterung die Oberfläche der Mergellager nicht nur entkalkt, sondern auch durch Oxydation und andere Vorgänge verändert hat, so ist der Geologe gezwungen, bei der Untersuchung derartiger Terrains sich des Bohrers als Hilfsmittel zu bedienen. Am zweckmäßigsten ist dazu der bereits früher beschriebene dünne Löffelbohrer, dessen Länge 2 m nicht zu überschreiten braucht. Die Bohrungen selbst setzt man zweckmäßig nicht auf dem Grunde der das Gelände durchziehenden, flachen Depressionen an, da diese oft in ziemlicher Mächtigkeit von Abschlämmmassen erfüllt sind, sondern man wählt dazu die Gehänge, an denen im Gegenteil die entstandenen Verwitterungsbildungen durch die Atmosphärilien zum großen Teil wieder entfernt und in die Tiefe geführt sind. Zur Prüfung der Bohrresultate bedient man sich der unter den Hilfsmitteln des Feldgeologen angeführten Tropfflasche mit verdünnter Salzsäure, und versucht gleich an Ort und Stelle durch Vergleich der Heftigkeit des Aufbrausens die Punkte zu ermitteln, an denen voraussichtlich der Kalkgehalt am größten

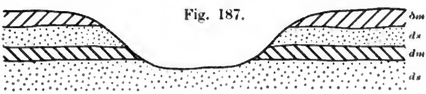
ist. Manche Mergel sind so reich an Dolomit, daß sie mit verdünnter kalter Salzsäure nicht mehr aufbrausen. Man erkennt sie aber sogleich am lebhaften Aufbrausen, wenn man sie mit Salzsäure in einem Glasröhrchen erwärmt. Die Eignung zur Ackermelioration wird durch den Gehalt an Magnesiumkarbonat nicht beeinträchtigt.

Da die Mergellager in den daran reichen Formationen nur selten zwischen ganz kalkfreien Bildungen gelagert sind, so ist das Hilfsmittel, welches die Vegetation bei der Aufsuchung und Abgrenzung von Kalklagern bietet, die innerhalb kalkfreier Gebirgsglieder auftreten, nicht von Bedeutung. Umso größer ist dagegen ihre Wichtigkeit bei den Mergellagern innerhalb der Gebiete der Quartärformation, also des weitaus größten Teils des nördlichen Deutschland, und in den Lößgebieten Mittel- und Süddeutschlands.

Wesentlich anders gestaltet sich die Aufgabe des Geologen, wenn er in diesem Gebiet, also in den Glazialbildungen des nordeuropäischen Inlandeises oder in noch jüngeren Bildungen Mergellager aufsuchen soll.

Man geht hierbei von der weiter oben näher begründeten Erfahrung aus, daß alle tonigen Glazialgebilde des Gebietes der nordeuropäischen Vergletscherung, namentlich aber Norddeutschlands, bei ihrer Ablagerung einen gewissen Kalkgehalt besessen und nur oberflächlich durch Auslaugung verloren haben. Unter Benützung dieser Erfahrung untersucht man alle Flächen, in denen tonige Bildungen zu Tage gehen. Das kann in zweierlei

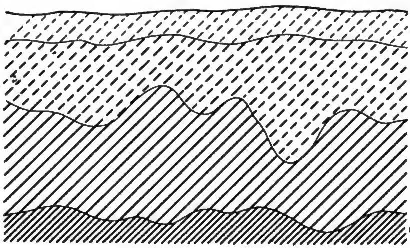
Fig. 187.



Weise geschehen: sie können entweder als Decke in größeren oder kleineren Flächen die oberste Schicht des Bodens bilden, oder sie können als schmale Bänder an den Gehängen von Tälern auftreten. Einer der in Norddeutschland häufigsten Fälle ist in der Figur 187 dargestellt; zwei übereinanderlagernde Mergelschichten (δm und dm) sind durch eine Sandschicht getrennt; in die Platte ist ein Tal eingeschnitten und die obere Bank tritt als Oberflächendecke auf, während die untere nur als schmales Band am Gehänge beiderseits des Tales verfolgt werden kann. Wo Geschiebemergeldecken von nennenswerter Größe an der Oberfläche auftreten, da wird der Landwirt meist über ihre Ausdehnung unterrichtet sein, da sie in Norddeutschland immer den besseren, wertvolleren lehmigen Boden bilden; daß aber in diesem Lehmboden der viel begehrte Mergel steckt, ist ihm in den meisten Fällen unbekannt. Hat man — was gewöhnlich sehr leicht ist — festgestellt, daß größere Geschiebemergelplatten auftreten, so ist es zunächst von

Wichtigkeit, zu ermitteln, bis zu welcher Tiefe sie durch die Verwitterung entkalkt und in Lehm verwandelt sind. Zu diesem Zwecke sucht man die Lehmgruben auf, die in der Umgebung jedes in solchen Gebieten liegenden Dorfes oder Gutes vorhanden sind, und ermittelt in ihnen die mittlere Stärke der Verwitterung. Man wird in den senkrechten Wänden einer solchen Grube gewöhnlich drei oder vier Schichten übereinander (Fig. 188) sehen: zu oberst liegt ein lehmiger Sand (*a*), der im obersten Teil durch die Einwirkungen des Düngers und durch die Vegetation etwas dunkler gefärbt ist. Darunter folgt ein gewöhnlich rostfarbener, rötlicher oder bräunlicher Lehm (*b*) und erst unter diesem der unverwitterte Mergel (*c*), der in seinen oberen Teilen gewöhnlich gelblich gefärbt ist, bei großer Mächtigkeit aber nach der Tiefe

Fig. 188.



zu eine dunkel graublaue Farbe (*d*) annimmt. Die Grenze zwischen Lehm und Mergel ist durch den Färbungsunterschied gewöhnlich so scharf bezeichnet, daß man sie, zumal wenn die entblößte Wand trocken ist, auf der Stelle erkennen kann. Wie die Abbildung zeigt, ist die Grenze beider Bildungen keine ebene Fläche, sondern ganz unregelmäßig wellig, und namentlich greift der Lehm oft zapfenförmig tief in den unterlagernden Mergel hinein. Es muß also aus dem Bilde, welches solche Entblößungen zeigt, die m i t t l e r e Mächtigkeit der Verwitterungsrinde festgestellt werden.

Sind keine Lehm- oder früheren Mergelgruben vorhanden und kann man auch in anderen künstlichen oder natürlichen Aufschlüssen, Hohlwegen, Wasserrissen, Weg- oder Eisenbahneinschnitten keinen Einblick in die Verwitterungsstärke des Mergels gewinnen, so bleibt nichts anderes übrig, als eine systematische Abbohrung der Lehmflächen. Man bedient sich dabei zweckmäßig der S. 5—6 abgebildeten und beschriebenen Bohrer. Ist das Terrain ganz eben, so fordert die Wahl der Bohrpunkte keine besondere Beachtung; man kann dann das ganze Gebiet in gleichmäßigen Abständen von mehreren Hundert Metern abbohren. Ist das Gelände aber wellig

bewegt oder besitzt es den ganz unregelmäßig hügeligen Charakter der Moränenlandschaft, so muß man es vermeiden, in den Einsenkungen zwischen den einzelnen Terrainfalten zu bohren, da in ihnen von den Gehängen her durch Regen und Schneewasser so viele feinkörnige, humose Massen zusammengeschwemmt sind, daß man hier meist gar keinen Mergel finden oder wenigstens zu ganz falschen Vorstellungen über seine Mächtigkeit gelangen würde. In solchem Gebiet bohrt man vielmehr, um Mittelwerte zu erhalten, in der mittleren Höhe der Gehänge; an ihrem oberen Rande trifft man den Mergel meist in ganz geringer Tiefe an, da hier durch das Wasser die Verwitterungsbildungen zum großen Teile fortgeschafft sind.

Es wird in sehr vielen Fällen nicht möglich sein, mit Bohrungen auf 2 m Tiefe auszukommen, da es nicht allein darauf ankommt, die Anwesenheit des Mergels unter dem Lehme, sondern auch ein Mindestmaß von Mächtigkeit nachzuweisen, welches umso höher sein muß, je stärker die Verwitterungsdecke und je geringer der Kalkgehalt des Mergels ist. Man hilft sich dann in der Weise, daß man entweder einen dem 2 m-Bohrer gleich konstruierten Bohrer von 3 m Länge anwendet, oder daß man an den Stellen, an denen man tiefer bohren möchte, durch einen Mann ein Loch von $1\frac{1}{2}$—2 m Tiefe und so großem Querschnitt ausheben läßt, daß man auf dem Grunde desselben gerade noch bohren kann. Man kann auf diese Weise die Untersuchung leicht auf eine Tiefe von 4—5 m ausdehnen.

Oft bildet der Geschiebemergel nicht direkt mit seinen Verwitterungsbildungen die Oberfläche, sondern wird von einer Decke sogenannten Geschiebesandes verhüllt. In den meisten Gebieten hat diese keine sehr große Mächtigkeit, sondern schwankt zwischen $\frac{1}{2}$ und $2\frac{1}{2}$ m. Auch in solchen Fällen ist dem Besitzer des Bodens der Lehmuntergrund oft nicht bekannt und man ist dann natürlich auf Bohrungen angewiesen. Man kann auf einen in geringer Tiefe unter dem Sande folgenden undurchlässigen Untergrund schließen, wenn flach eingesenkte, mit Wasser oder Torf erfüllte Becken vorhanden sind, oder wenn auf dem steril aussehenden Boden Ackerbrombeeren wachsen.

Der Kalkgehalt des Geschiebemergels schwankt zwischen 5 und 15 Prozent und beträgt in der großen Mehrzahl der Fälle 9—12 Prozent. Dieser verhältnismäßig geringe Kalkgehalt schließt natürlich von vornherein alle irgendwie kostspieligen Gewinnungsmethoden, namentlich also die Werbung unter großem Abraume, vollkommen aus. Man kann rechnen, daß der Mergel dann gewinnbar ist, wenn seine Mächtigkeit mindestens doppelt so groß ist, wie der Abraum, wenn man also auf 1 cbm Abraum 2 cbm Mergel gewinnen kann. Steigt der Kalkgehalt, was ausnahmsweise vorkommt, auf 15—20 Prozent, so kann sich dies Verhältnis ein wenig verändern; Mergel mit weniger als 6 Prozent lohnen wohl nie die Gewinnung. Ein Mergel von 10 Prozent gestattet eine Verwendung bis auf etwa 1 km

um die Gewinnungsstelle herum; wenn man weiter mergeln will, muß man entweder neue Mergelgruben anlegen oder, wenn das ausgeschlossen ist, mit gemahlenem Kalke mergeln. Die gemachten Angaben sind natürlich abhängig von vielen Faktoren, der Höhe der Löhne, der Beschaffenheit der Wege u. a. und müssen deshalb für die einzelnen Fälle geprüft werden.

Wenn keine Platten von Geschiebemergel vorkommen, oder wenn sie aus den eben angegebenen Gründen die Gewinnung nicht lohnen, so tut man gut, etwa vorhandene Talgehänge in den Kreis der Untersuchung zu ziehen. In vielen Fällen hat man an ihnen das Zutagetreten toniger und demnach auch kalkhaltiger älterer Diluvialbildungen zu erwarten. Sind die Gehänge beackert, so sieht man oft schon von weitem an der Farbe oder der üppigeren Vegetation die ausstreichenden Ton- oder Geschiebemergelbänke; bisweilen bilden sie infolge ihres größeren Widerstandes gegen die Abtragung deutlich sichtbare Stufen im Gehänge und verraten sich dadurch. Schwieriger wird die Sache schon, wenn, wie es häufig der Fall ist, die Gehänge bewaldet sind. Im Kiefernwalde markiert sich das Ausstreichen von Mergelbänken gewöhnlich durch eine üppige Grasvegetation an Stelle des sonst herrschenden Moosteppichs. Im Laubwalde dagegen bleibt kaum etwas anderes übrig, als an einer Anzahl von Stellen das Gehänge systematisch von oben bis unten abzubohren und die Punkte, an denen tonige Bildungen getroffen wurden, genauer zu untersuchen. Übrigens verrät sich an solchen Gehängen, die aus abwechselnden sandigen und tonigen Bildungen aufgebaut sind, die Grenze zwischen beiden sehr häufig durch das Auftreten von Quellen oder wenigstens von sumpfigen oder feuchten Stellen; die durch den Sand in die Tiefe wandernden Niederschläge sammeln sich auf der schwer durchlässigen Schicht an und treten da, wo diese ausstreicht, wieder als Quellen zu Tage. Sie sind es natürlich auch, die die üppige Vegetation erzeugen, unter der namentlich Tussilago Farfara und Petasites officinalis, beide an ihren großen Blättern kenntlich, hervorzuheben wären. Oft sind solche Gehänge von Wasserrissen durchfurcht, in denen man, zumal nach starken Regengüssen, häufig durch bloßes Begehen einen Einblick in den Aufbau des gesamten Gehänges und in die Mächtigkeit der einzelnen daran beteiligten Bildungen gewinnen kann. Die Arbeiten für die Prüfung der Abbaufähigkeit der etwa gefundenen Lager decken sich natürlich mit den oben für den in Decken auftretenden Geschiebemergel angegebenen.

Für die Aufsuchung der diluvialen Süßwasserkalklager lassen sich keine Regeln geben, da sie in den meisten Fällen von sandigen Massen in großer Mächtigkeit bedeckt sind; doch achte man auf zweierlei: erstens treten diese hoch geschätzten Mergel in Becken auf, deren gewöhnlich eine kleine Anzahl auf verhältnismäßig engem Raum beieinander liegen. Wo also

durch Zufall, wie es meist geschieht, einmal e i n solches Kalkbecken gefunden ist, kann man in dessen Umgebung noch mehr erwarten und mag die Umgebung systematisch auf 4—5 m Tiefe untersuchen; und zweitens beachte man in solchen Fällen, daß solche unterirdischen Becken sich gewöhnlich auch an der Oberfläche noch durch eine schwache Mulde verraten, die vielleicht durch nachträgliches Zusammensinken der Beckenausfüllung (Kalk und oft, mit ihm zusammen vorkommend, Torf und Diatomeenerde) entstanden ist.

In Mittel- und Süddeutschland, in Norddeutschland im Vorlande des Harzes, hat der Löß eine bedeutende Verbreitung. Sein bis 25 Prozent betragender Kalkgehalt und die staubförmige Beschaffenheit der Mehrheit der ihn bildenden Körner, die im feuchten Zustande sein leichtes Zerfallen bewirken, machen ihn zu einem sehr brauchbaren Mergel. Seine Verbreitung erkennt man an dem dunklen, humusreichen Boden, den er bildet, an dem gänzlichen Fehlen von Steinen und an der äußerst charakteristischen Steilheit der Wände der in ihm eingeschnittenen Hohlwege und Wasserrisse. Seine Hauptverbreitung hat er in den höher gelegenen Teilen der Täler und an ihren Flanken; doch bildet er auch vielfach ausgedehnte Decken gleich dem Geschiebemergel. Bei der Untersuchung des Löß hat man, genau wie beim Geschiebemergel, auf das Verhältnis der Stärke der Verwitterungsrinde zu der des kalkhaltigen Gesteins zu achten, nur daß hier infolge höheren Kalkgehaltes das Verhältnis etwas günstiger ist.

Völlig abweichend sind die Umstände, auf die man bei Aufsuchung der wegen ihres Kalkreichtums sehr wichtigen alluvialen Kalklager zu achten hat. Hier ist die Möglichkeit des Auftretens auf die Täler und ihre Ränder sowie auf jetzige und ehemalige Seebecken beschränkt. An den Ge-

Fig. 189.

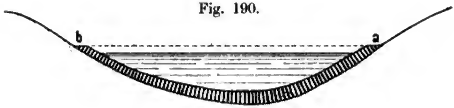


hängen lagert der Kalktuff; ihn verraten starke Quellen, die am Gehänge entspringen und oft zur Anlage von Fischteichen Veranlassung gegeben haben. Sehr häufig deckt ihn üppiger Laubwald, in welchem kalkanzeigende Orchideen und andere Pflanzen auftreten. Sehr zahlreich sind in solchem Walde die Schnecken, namentlich Helix lapicida, hortensis (Fig. 189, *1*), nemoralis, fruticum (*2a* und *b*), Clausilien (*3*) und kleine Pupaarten (*4*). Wo man in quellenreichem Gehängewalde nach Regen zahllose Schnecken an den glatten und schlanken Buchenstämmen sieht, da kann man auf Mergel rechnen. Der nicht als Kalktuff niedergeschlagene Kalk gelangt in

Seebecken und wird in ihnen in der S. 401 geschilderten Weise abgelagert. Die Untersuchung des Grundes mit dem Grundlote in Seen, die Zuflüsse durch Bäche erhalten, wird Gewißheit geben, ob Wiesenkalklager auftreten. Gegebenenfalls können diese entweder durch Tieferlegung des Seespiegels oder durch Handbaggerung gewonnen werden.

Ist durch natürliche Verhältnisse der Seespiegel schon früher einmal gesenkt worden, so finden sich die dadurch über die Wasserfläche gebrachten Kalklager in Gestalt einer horizontalen Terrasse am Ufer des Sees und

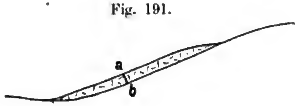
Fig. 190.



etwaiger Inseln, wie z. B. an dem in Figur 190 im Querschnitte skizzierten Niedersee in Pommern. Die Linie *a b* bezeichnet den ehemaligen Wasserspiegel, die stark schraffierte Schicht das Kalklager.

Weit häufiger als in heutigen Seen finden sich Wiesenkalklager in ehemaligen Seen, die durch Vertorfung in Moore verwandelt sind. Hier verrät nichts an der Oberfläche das Auftreten des Kalkes in der Tiefe, und wenn nicht durch tiefe Entwässerungsgräben der Kalk angeschnitten ist, so bleibt nichts übrig als die Bohrung. Diese geht übrigens sehr leicht von statten. Ich bediene mich bei der Untersuchung größerer Moore gewöhnlich einer eisernen, etwa daumendicken Stange von 4—5 m Länge, wie man sie bei jedem Dorfschmied vorfindet. Das untere Ende wird zugeschärft und in einer Länge von 2—3 dcm ausgekehlt. An das obere Ende kommt ein Handgriff. Zwei Männer vermögen in wenigen Sekunden diesen primitiven Bohrer 5 m tief in Moor und Kalk hineinzustoßen, während erreichter Sanduntergrund sogleich sehr kräftigen Widerstand leistet. Mit diesem Bohrer kann man an einem Tage zahlreiche Moore oder große Moorflächen abbohren. Verdacht auf auftretende Wiesenkalklager kann man übrigens von vornherein haben, wenn in den Moorgräben sehr zahlreiche Wasserschnecken (Planorben, Paludinen und Limnäen) auftreten, so daß der Boden ganz von ihnen bedeckt ist.

Fig. 191.

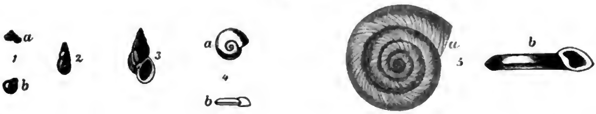


Bei der Berechnung der Menge des zur Verfügung stehenden Kalkmergels liefert die durch Abbohrung zu ermittelnde Mächtigkeit und die Fläche, die er einnimmt, den nötigen Anhalt. Die letztere in Quadratmetern, multipliziert mit der mittleren Mächtigkeit, ergibt die Masse in

Kubikmetern. Bei dem am Gehänge lagernden Kalktuffe darf man die Mächtigkeit nicht vertikal ermitteln, sondern rechtwinkelig zur Neigung, da man sonst, wie die Figur 191 zeigt, eine zu hohe Zahl erhalten würde.

Der meist ganz oberflächlich lagernde, kalkhaltige Humus- oder Moormergel ist bei nicht ganz geringem, mindestens 10 Prozent betragendem Kalkgehalte ein ganz vorzügliches Meliorationsmittel. Er tritt mit Vorliebe in flachen, weiten Niederungen auf und ist in seiner Verbreitung gewöhnlich

Fig. 192.



sehr leicht an den Tausenden von meist winzigen Schneckenschalen zu erkennen, die ihn ganz und gar erfüllen. In Figur 192 sind die wichtigsten abgebildet und zwar *1a* und *b* Helix pulchella, *2* Cionella lubrica, *3* Limnaeus truncatulus, *4a* und *b* Planorbis nitidus, 5*a* und *b* Planorbis marginatus. Sind die betreffenden Flächen Wiese, so achte man besonders auf die Maulwurfshaufen und prüfe sie auf Schneckengehalt. Bei Ackerkultur auf Moormergel zeigt jede aufgenommene Handvoll Erde den Konchylienreichtum des Bodens.

Kapitel 41.

Die Aufsuchung von Tonlagern.

Aufsuchung und Untersuchung von Tonlagern. Wir fassen hier unter dem Begriff „Ton“ alle Gesteine zusammen, die zur Herstellung von Produkten der Töpferei und Ziegelindustrie Verwendung finden. Nach ihrem Auftreten in der Natur kann man sie trennen in a) solche, die sich auf primärer Lagerstätte befinden — bei ihnen besteht das Lager in seiner ganzen Mächtigkeit aus Tonen und hat auf seiner Lagerstätte von jeher aus solchen bestanden —, b) sekundäre Tonlager, d. h. solche, die durch Verwitterung aus tonerdehaltigem Gestein hervorgegangen sind und nur insoweit als Ton verwendet werden können, als die Verwitterung das Gestein angegriffen und umgewandelt hat. Wir betrachten zunächst die Verbreitung der unter a) verstandenen primären Tonlager in den verschiedenen Formationen.

Die archäische Formation ist durchaus frei von Tonlagern, da die ursprünglich auch wohl in ihr enthalten gewesenen durch zahlreiche Kräfte

so umgewandelt sind, daß ganz anderes Gestein daraus geworden ist. Auch die paläozoische Formationsgruppe enthält nur an wenigen Stellen abbaufähige Tone. Man kann hier die eigentümlichen, in ihrem Aussehen an sehr junge Gesteine erinnernden Tonlager des Cambrium im nördlichen Rußland nennen, sodann die durch besondere Behandlungsmethoden erst vorzubereitenden feuerfesten Tone der Steinkohlenformation, wie sie in Deutschland im niederschlesischen Steinkohlenbecken, außerdem aber noch in großer Menge im belgischen und schottischen Karbon auftreten und wegen ihrer Feuerbeständigkeit ein sehr schätzbares Material für viele Zwecke liefern. Auch die Letten der Zechsteinformation haben an manchen Orten Veranlassung zur Anlage meist kleiner Ziegeleien gegeben.

In den mesozoischen Formationen nimmt der Reichtum an bauwürdigen Tonlagern bereits zu. Manche Letten der Buntsandsteinformation sind direkt für die Herstellung von Ziegelsteinen geeignet (bei Staßfurt wird der Röt fast in seiner ganzen Mächtigkeit von Ziegeleien ausgebeutet), außerdem aber kommen in den Sandsteinen derselben Formation Schichten vor, in denen die einzelnen Quarzkörner durch ein Bindemittel von Kaolin verbunden sind. Diese Sandsteine sind gewöhnlich so mürbe, daß durch einen einfachen Schlämmungsprozeß der Kaolingehalt gewonnen werden kann, wie dies beispielsweise mit den kleinen, auf Verwerfungen eingesunkenen Schollen von Buntsandstein auf dem Thüringer Walde in der Nähe von Steinheid der Fall ist, wo dieses Kaolin für die Zwecke der Porzellanindustrie gewonnen wird. Während im Muschelkalk sich kein für keramische Zwecke geeigneter Ton findet, enthält der Keuper in weiten Gebieten Mittel- und Süddeutschlands sehr große Mengen von Lettenlagern, die an vielen Orten für Ziegeleizwecke ausgebeutet werden, und besonders die Grenzschicht gegen den Jura hin, das sogenannte Rhät, ist reich an solchen Tonlagern.

Von großer Bedeutung sind die zahlreichen Tonschichten des Lias und des braunen Jura, die in Westfalen, sowie im ganzen nordwestlichen Deutschland und im süddeutschen Verbreitungsgebiete dieser Formation in sehr zahlreichen Gruben ausgebeutet werden. Die obere Abteilung des Jura, der weiße Jura, ist wegen der überwiegend kalkigen Ausbildung seiner Schichten ungeeignet; dagegen treffen wir zunächst wieder im Wealden im nordwestlichen Deutschland mächtige Tonmassen, und dasselbe ist der Fall mit den nächstjüngeren Schichten der unteren Kreide. Im nördlichen Vorlande des Harzes, im Braunschweigischen, im östlichen Hannover und durch ganz Westfalen hin besteht das Neokom und der Gault vorwiegend aus tonigen Gesteinen, die ein ganz vortreffliches und vielfach benütztes Material für die Ziegelindustrie liefern. Dasselbe ist wiederum der Fall mit den jüngsten Gliedern der Kreideformation, die in denselben Gebieten verbreitet sind und vielfach von Ziegeleien ausgebeutet werden.

Außerordentlich groß ist auch der Reichtum der Tertiärformation an

tonigen Bildungen. Dem Unteroligozän oder Eozän gehören die sogenannten Kapseltone und Flaschentone der sächsischen und böhmischen älteren Braunkohlenformation an; im Mitteloligozän bildet der Septarienton einen Tonhorizont, der vom Mainzer Becken aus sich durch Hessen hinzieht und alsdann wieder im nördlichen Deutschland von der Elbe bis zur Oder an zahlreichen Stellen auftritt. Die jüngere miozäne Braunkohlenformation, die ihr Verbreitungsgebiet durch die ganzen östlichen Provinzen des preußischen Staates hindurch von der russischen Grenze bis etwa zur Mulde hin besitzt, ist gleichfalls reich an Tonlagern, die an sehr vielen Orten ausgebeutet werden. Diese Tonlager bestehen entweder aus hellgrauweiß gefärbten, feuerfesten, als Flaschentone bezeichneten Bildungen, oder sie führen durch organische Substanzen gefärbte, dunkle Kohlenletten. Von gleichem Alter sind auch die im nördlichen Schlesien, in der Provinz Posen und weit nach Polen hinein verbreiteten sogenannten Flammentone, graugrün gefärbte Gesteine, mit intensiv roten, grünen oder gelblichen Tonen flammenartig durchsetzt. In dieser selben Formation des Miozän finden sich, gerade wie im Buntsandstein, sandige und kiesige Schichten, in welchen zwischen den einzelnen Sandkörnern so große Kaolinmengen liegen, daß sie auf dem Wege der Schlämmung gewonnen werden und zur Herstellung von Schamottesteinen Verwendung finden.

In den diluvialen Schichten finden sich Tonlager in drei verschiedenen Horizonten. Der tiefste liegt unter dem älteren Geschiebemergel und umfaßt jene Tonlager, die besonders in der Mark Brandenburg unter dem Namen Glindower Tone zur Anlage zahlloser Ziegeleien Veranlassung gegeben haben und die Hauptmasse der in der Reichshauptstadt verwendeten Bausteine liefern. Der wenigstverbreitete ist der mittlere Horizont, d. h. die Tonlager, die zwischen dem oberen und dem unteren Geschiebemergel eingeschaltet sind und gegenüber den Glindower Tonen den Nachteil geringerer Mächtigkeit und Ausdehnung besitzen. Der jüngste Tonhorizont des Diluviums umfaßt alle Tone, die jünger sind als der jüngste Geschiebemergel und entweder in plattenförmigen Massen von meist geringer Mächtigkeit ihm aufgelagert sind (Decktone) oder in derselben Zeit wie der Deckton in jungdiluvialen Staubecken, — also in Tälern und seeartigen Niederungen, zum Absatze gelangt sind. Derartige Tonlager sind besonders im Gebiete des baltischen Höhenrückens weit verbreitet und infolge ihrer Lage unmittelbar an der Oberfläche und der dadurch bedingten leichten Gewinnbarkeit ein geschätztes Material zur Ziegelfabrikation. Ein anderes diluviales Gebilde, welches gleichfalls vielfach zu Ziegeleizwecken ausgebeutet wird, ist der Lößlehm, über dessen Verbreitung in Deutschland in dem Kapitel über Mergelaufsuchung das Nähere mitgeteilt ist.

Auch die jüngste unserer Formationen, das Alluvium, besitzt einen großen Reichtum an Tonen; diese sind entweder Ablagerungen in ganz

jugendlichen Süßwasserbecken und werden alsdann als Wiesentone bezeichnet, oder Flußabsätze, die man Schlick nennt; zu den ersteren gehören auch die mächtigen Lager eines sehr kalkreichen Tones, die im Havelgebiete zwischen Potsdam und Brandenburg sich finden und mit dem Namen Haveltonmergel bezeichnet werden. Diese Tone besitzen gewöhnlich einen recht nennenswerten Kalkgehalt und unterscheiden sich dadurch von dem meist kalkfreien Alluvialtone, welcher in den Überschwemmungsgebieten unserer großen Ströme, im Unterlaufe des Rheins, der Weser, Elbe, Oder und Weichsel eine kolossale Verbreitung besitzt und als „Schlick" bezeichnet wird. Er ist entstanden durch Niederschlag der von den Hochwassern dieser Ströme mitgeführten Flußtrübe im Gebiete der jährlichen Hochwasserüberflutungen, und wurde zu einer Zeit gebildet, als die Wege dieser Flüsse noch nicht wie heute durch Dämme eingeschlossen waren, die Hochwasser noch über meilenweite Flächen sich ausbreiten konnten. Da das Flußwasser aus diesen schwebenden Bestandteilen den kohlensauren Kalk auslaugte und vollständig in Lösung überführte, so konnte er natürlich nicht mit zum Absatze gelangen, und es ergab sich so ein kalkfreier Ton, welcher ein sehr geschätztes Material für die Fabrikation von Verblendsteinen liefert.

Von diesen primären Tonlagern unterscheiden sich die sekundären dadurch, daß sie Verwitterungsbildungen des darunter anstehenden Gesteins darstellen. Feldspatreiche Eruptivgesteine, wie der Granit und der Porphyr, aber auch Sedimentärgesteine, wie die Granwacke, können unter besonderen Verhältnissen in der Weise verwittern, daß der Alkaligehalt der Feldspäte und ein Teil der Kieselsäure in Lösung geht und ein als Kaolin bezeichnetes Tonerdesilikat übrig bleibt. Diese oft schneeweiß gefärbte „Porzellanerde" enthält dann nur noch die von der Verwitterung nicht angreifbaren Bestandteile des Gesteins, in erster Reihe also den Quarz, und wird auf dem Wege einfacher Schlämmung von ihm befreit. Eine solche Kaolinverwitterung zeigen beispielsweise die Porphyre der Gegend von Halle und manche Granite und Granwacken im Königreich Sachsen und an anderen Orten. Besonders bekannt ist der mächtige, auf große Tiefe kaolinig zersetzte Granit der Insel Bornholm, wo ungeheure Mengen dieser Erde, hier allerdings hauptsächlich für Zwecke der Papierindustrie, durch Ausschlämmen gewonnen werden. Von dieser Kaolinverwitterung unterscheidet sich das Verwitterungsprodukt mancher tonerdereicher Gesteine dadurch, daß es bedeutend unreiner ist und daß das Gestein als Ganzes zersetzt ist, so daß durch Schlämmung die Erzielung eines reineren Produktes nicht möglich ist. So verwittern manche Grauwacken und Schiefergesteine zu einem unreinen Lehm oder Ton, der gewöhnlich nur geringe Mächtigkeit besitzt, indem alsbald darunter ungenügend verwittertes, festes Gestein folgt. Von größerer Bedeutung sind die Verwitterungsbildungen der diluvialen Geschiebemergel, die in sehr vielen Gebieten das einzige Material für die Herstellung von Mauersteinen für den örtlichen

Bedarf liefern, die Anlage größerer Ziegeleien dagegen in den wenigsten Fällen lohnend erscheinen lassen. In dem Kapitel über Mergelaufsuchung ist bereits der komplizierten Verwitterung des norddeutschen Geschiebemergels gedacht. Der aus seiner Entkalkung entstandene Geschiebelehm liefert Ziegelsteine von geringer Güte, die aber wegen der außerordentlichen Verbreitung der Schicht an sehr vielen Stellen Norddeutschlands fabriziert werden. In ähnlicher Weise wie der Geschiebemergel verwittert auch der kalkhaltige Löß zu einem kalkfreien Lößlehme, der gewöhnlich einen höheren Grad von Plastizität besitzt und gleichfalls an vielen Orten gewonnen wird.

Das Aufsuchen von Tonlagern im Felde erheischt dieselben Methoden, die wir bereits bei der Aufsuchung von Mergellagern besprochen haben, und dies umsomehr, als viele Gesteine, die für die Ziegelindustrie ein geeignetes Material ergeben, zugleich auch einen solchen Kalkgehalt besitzen, daß sie als Meliorationsmittel benützt werden können. Man wird also, wie dort, alle Eigenschaften des Tones, die auf seiner Undurchlässigkeit und auf seiner geringen Widerstandsfähigkeit gegen die Erosion beruhen, gleichfalls zu beobachten haben, — also aus den dort beschriebenen Eigentümlichkeiten des Terrains, aus dem Auftreten von Quellen oder sumpfigen Stellen, aus der Beschaffenheit des Ackerbodens und aus gewissen Eigentümlichkeiten der Vegetation Schlüsse auf das Auftreten von Tonlagern ziehen dürfen. Wenn man im älteren Gebirge Tonlager aufsucht, so vergewissert man sich zunächst, mit welcher Formation, resp. mit welcher Unterabteilung derselben man es in dem betreffenden Gebiete zu tun hat, ermittelt, in welchen Horizonten in der betreffenden Formation tonige Schichten sich einzustellen pflegen, und verfährt bei der Aufsuchung der Stellen, wo diese Schichten im Terrain ausstreichen müssen, genau in derselben Weise, wie dies bei der Mergelaufsuchung angegeben ist.

Hat man solche tonige Bildungen gefunden, so bedürfen sie einer näheren Untersuchung nach ihrer horizontalen und vertikalen Ausdehnung, nach den Lagerungsverhältnissen, der Mächtigkeit des Abraumes und nach ihrer petrographischen Beschaffenheit, und man hat dabei bezüglich der erstgenannten Punkte wieder dieselben Methoden anzuwenden wie bei Mergellagern. Nur rücksichtlich der petrographischen Beschaffenheit sind andere Umstände zu berücksichtigen. Während in Mergellagern der Kalkgehalt gerade das Wesentliche ist, ist er für die Zwecke der Ziegelindustrie gerade von entgegengesetzter Bedeutung. Das Auftreten großer Kalkmengen vermag sogar ein Tonlager vollständig unbrauchbar zu machen, doch ist dabei wohl zu unterscheiden, ob der Kalk in größeren Stücken (meist Konkretionen) auftritt oder ob er in feiner Verteilung dem Tone beigemengt ist. Im ersteren Falle kommt es darauf an, festzustellen, ob die Größe dieser Konkretionen und die Massenhaftigkeit ein Auslesen unmittelbar bei der Gewinnung noch gestattet. Dies ist der Fall, wenn diese Kalkknauern eine

gewisse Größe besitzen, so daß sie leicht erkannt werden können. Sind sie aber, wie vielfach der Fall, von sehr geringer Größe, etwa erbsengroß oder noch kleiner, so können sie natürlich nicht mit der Hand ausgelesen werden, und es sind entweder kostspielige Schlämmprozesse nötig oder man riskiert, daß zahlreiche Steine nach dem Brande durch chemische Umsetzung der gebrannten Kalkstückchen gesprengt werden und verloren gehen. Ein Gehalt an fein verteiltem kohlensauren Kalke, den man durch einfaches Auftropfen von verdünnter Salzsäure leicht feststellen kann, ist dagegen weniger schädlich, und die Glindower Tone z. B., die zur Fabrikation von ganz ungeheuren Massen von Mauersteinen benützt werden, enthalten einen zwischen 10 und 20 Prozent schwankenden Gehalt an Kalkstaub. Eine solche Beimengung macht das Fabrikat allerdings ungeeignet zur Benützung für Außenwände, die den Angriffen der Atmosphärilien ausgesetzt sind, und beschränkt es auf die Verwendung als Hintermauerungssteine.

Ebenso schädlich wie ein Gehalt an Kalksteinen ist ein solcher an Gipskristallen oder -knollen. Wenn diese in dem Tone bleiben, so verliert der Gips sein Wasser beim Brennen, nimmt es aber beim späteren Liegen an der Luft wieder auf, vermehrt sein Volumen und sprengt den Stein. Es müssen deshalb alle größeren Gipsstücke und -kristalle ebenso sorgsam vor der Verarbeitung des Materials beseitigt werden wie die Kalkkonkretionen. Das Auftreten von Gipskristallen ist in der Hauptsache auf die Tone der Trias beschränkt, ist aber auch im Septarientone eine sehr verbreitete Erscheinung. Ein drittes Mineral, welches gleichfalls zu den Feinden der Ziegelbrenner gehört, ist der Schwefelkies, der entweder in stengeligen oder in kugeligen, meist radial-faserigen Massen auftritt, beim Brennen einen Teil seines Schwefels verliert und beim weiteren Lagern des Steines an der Luft sich unter Bildung von Schwefelsäure weiter zersetzt, wobei die freigewordene Schwefelsäure den Stein energisch angreift und seine Widerstandsfähigkeit aufs äußerste beeinträchtigt.

Die Untersuchung des Tones für die besonderen Zwecke, zu denen er bestimmt ist, macht eine Reihe von Untersuchungen nötig, von denen aber der Geologe wohl nur einzelne auszuführen in die Lage kommen wird, während andere so komplizierte Apparate und maschinelle Vorrichtungen nötig machen, daß sie füglich den in den meisten Staaten eingerichteten öffentlichen oder privaten Untersuchungsstationen überlassen werden. Zu diesen letzteren Untersuchungen gehört die Prüfung der Widerstandsfähigkeit des fertigen Produktes gegen die Verwitterung, seiner Härte, seines Schmelzpunktes, seiner Widerstandsfähigkeit gegen Druck und Zug. Dagegen wird der Geologe manche Eigenschaften des Rohmaterials festzustellen haben; dahin gehören die mechanische Analyse, welche Aufschluß zu geben hat über die Menge der im Ton enthaltenen gröberen Bestandteile, sodann die Bestimmung des Gehaltes an Tonerde und drittens die Feststellung

der Menge der schädlichen Bestandteile, also des kohlensauren Kalkes, des schwefelsauren Kalkes und des Schwefeleisens. Alle diese verschiedenartigen Untersuchungen decken sich mit denjenigen, die bei der Bodenanalyse zur Anwendung gelangen, und finden deshalb bei den betreffenden Kapiteln im zweiten Teile dieses Werkes eingehende Besprechung.

Kapitel 42.

Die Aufsuchung von Kies- und Sandlagern.

Die Aufsuchung von Kieslagern. Bei der Aufstellung von Regeln und Winken für die Aufsuchung technisch verwertbarer Kies- und Schotterablagerungen ist es zweckmäßig, die Gebiete der eiszeitlichen Vergletscherung in Norddeutschland getrennt vom mittel- und süddeutschen Hügel- und Berglande einerseits und dem Alpengebiete anderseits zu betrachten.

In dem großen, von Hügelland und Mittelgebirgen eingenommenen Gebiete zwischen dem Nordrande der alpinen Vergletscherung und dem Südrande des skandinavisch-nordeuropäischen Inlandeises läßt sich über die Verbreitung von Kies und Schotter die Regel aufstellen, daß sie auf die Täler heutiger und ehemaliger Flüsse und Bäche beschränkt sind. Da die Kiese und Schotter Ablagerungen des fließenden Wassers sind, die Größe der transportierbaren Materialien aber von der Wassermenge und Strömungsgeschwindigkeit des Flusses abhängig ist, so ergibt sich als erster Satz, daß ein Fluß oder Bach mit unbedeutendem Gefälle nur Sande zu befördern und abzusetzen vermag, und wir werden daher im Tale eines solchen vergeblich nach Kies oder Schotter suchen. Den besten Anhalt bietet eine Untersuchung des Flußbettes selbst: besteht es nur aus feinerem Materiale und ergibt eine kleine Aufgrabung oder Bohrung, daß dieses Verhältnis sich nach der Tiefe zu nicht wesentlich ändert, so ist auch die Hoffnung gering, in der vom Flusse durchflossenen Talebene größere Lager zu entdecken. Besteht aber das Bett und das Ufer des Flusses aus gröberem Kies oder grobem Schotter, und zwar nicht bloß oberflächlich, sondern auch in größerer, durch Aufgrabung zu ermittelnder Tiefe, so kann man darauf rechnen, auch im Talboden zu beiden Seiten des Flusses weitere und ausgedehnte Ablagerungen des gesuchten Materials aufzufinden.

Kies und Schotter im heutigen Bette eines Flusses verraten die Anwesenheit von solchen unter dem weiteren, ebenen Talboden.

In solchem Falle darf das Aussehen der Felder und Wiesen der oft sehr weiten ebenen Talfläche nicht irre machen. Liegt diese über dem Hochwasserspiegel des Flusses, so hat seit langer Zeit die Verwitterung auf die

losen, schüttigen Bildungen einwirken können und sie oberflächlich in einen milden Lehmboden verwandelt, in welchem nur noch die schwerer zersetzbaren Schottergemengteile in ihrer ursprünglichen Gestalt vorhanden sind. In vielen größeren Kiesgruben läßt sich dieser Einfluß der Verwitterung, der meist auf $^1/_4$—1 m in die Tiefe reicht, gut erkennen. Ist aber der ebene Talboden den jährlichen Hochwassern des Flusses ausgesetzt und wird er jahraus, jahrein von ihnen überstaut, so bildet sich durch langsamen Absatz der im Hochwasser schwebenden, mineralischen und organischen Bestandteile auf den während einer früheren Zeit abgesetzten Kies- und Schotterlagern eine allmählich an Stärke zunehmende Schicht eines fetten, lehmigen Alluvialbodens. In diesem Falle ist durch Bohrung oder Aufgrabung der Nachweis des unter diesem Auelehme lagernden Kieses zu führen.

Je größer der Fluß und je geneigter das Tal, desto größer ist von vornherein die Aussicht auf Auffindung großer Kieslager; natürlich ergibt sich dabei eine Grenze nach oben, indem ein in engem schluchtartigem Tale fließender Strom nicht ablagert, sondern nur fortschafft. Tritt nun der Fall ein, daß das Gefälle des Flusses eine plötzliche Verminderung erfährt, so verliert er mit der veränderten Strömungsgeschwindigkeit einen Teil seiner Fähigkeit, zu transportieren und muß sich damit begnügen, das feinere Material weiter zu führen, während das gröbere auf verhältnismäßig kleiner Fläche abgelagert wird. Durch diesen Umstand gewinnen wir einige weitere Gesichtspunkte, die bei der Aufsuchung von Kies- und Schotterlagern nutzbringend verwendet werden können. Wir dürfen sie nämlich in sonst daran armen Tälern an folgenden Punkten erwarten:

1. wo der Fluß aus einem Tale mit engem Profile und starkem Gefälle oder aus einer Schlucht in eine Talweitung eintritt, in welcher das Gefälle sich vermindert; je näher dem Punkte, an welchem diese Veränderung eintritt, desto gröber wird das abgelagerte Geröll, je weiter davon entfernt, desto feiner wird es sein;

2. wo ein Fluß, der grobes Material zu transportieren vermag, in einen anderen einmündet, dessen Gefälle geringer ist, als das seinige, geht derselbe Prozeß vor sich, und die gröberen, nicht weiter transportierbaren Gerölle werden hier in Form eines mehr oder weniger geneigten Schotterkegels vor der Mündung des Nebentales in das Haupttal abgelagert.

Gelangt ein Fluß auf seinem Talwege in einen See, so verliert er damit seine transportierende Kraft völlig und besitzt nach seinem Austritte aus dem See kein Material mehr, vermag also auch nicht eher wieder Kies- und Schotterlager zu bilden, als bis er aus Nebentälern neue Zufuhr von Ge-

steinen erhalten hat. Daraus ergibt sich als wohl zu beachtender Satz für unsere Zwecke der folgende:

In der Sohle eines von dem heute darin fließenden Flusse geschaffenen Tales sind zwischen dessen Austrittsstelle aus einem See und der Einmündung des nächsten, grobe Sedimente führenden Nebentales keine Kies- und Schotterlager zu erwarten.

In vielen Tälern findet durch allmähliche Aufhöhung des Talbodens eine langsame Verminderung des Talgefälles statt; sie kann dahin führen, daß ein Fluß auf einer Strecke nur Sand ablagert, wo er in früheren Zeiten bei stärkerem Gefälle Kies und Schotter abzusetzen vermochte. In einem Profile durch das Flußalluvium wird man in solchem Falle von oben nach unten eine stetige Zunahme der Größe der einzelnen Sedimentsbestandteile beobachten können und oft in der Lage sein, unter einem eventuell anderweitig verwertbaren feinkörnigen Abraume technisch verwertbare Ablagerungen von gröberer Beschaffenheit aufzufinden. Bohrung oder Aufgrabung an einer Anzahl von Stellen quer über das Tal hinweg muß über die am günstigsten gelegenen Punkte Aufklärung verschaffen.

Der heutige Talboden eines Erosionstales bezeichnet nur einen vorübergehenden Zustand; der Fluß floß selbst in verhältnismäßig nahe zurückliegenden Zeiten in höherem Niveau als heute und besaß zu jeder Zeit neben seiner erodierenden auch eine ablagernde Tätigkeit. Wenn Zeiten starker Aufschüttung mit solchen gesteigerter Erosion wechselten, so macht sich das im Landschaftsbilde vielfach dadurch kenntlich, daß streckenweise die eine oder andere Talflanke oder auch beide in ihrer Abdachung terrassenförmige Unterbrechungen, die Reste eines alten, längst verschwundenen Talbodens zeigen, und in gar vielen Fällen sind solche alten Terrassen, die oft zu mehreren übereinander liegen, mit alten Flußschottern bedeckt, die auch nichts anderes sind, als die Reste einer einst über den ganzen damaligen Talboden verbreiteten Decke.

Man achte also auf terrassenartige Stufen im Gehänge der heutigen Täler und sehe zu, ob das Auftreten von Rollsteinen auf diesen Terrassen das Vorhandensein alter Flußschotter anzeigt.

Die lange Dauer der Zeit, während welcher diese alten Flußsedimente der Verwitterung ausgesetzt waren, hat gewöhnlich die weicheren oder löslicheren Gemengteile entfernt und nur die schwer zerstörbaren übrig gelassen. So bestehen viele dieser älteren Schotter vorwiegend aus Quarzen, harten Sandsteinen und Kieselschiefern, und gerade die unverwüstlichen weißen Quarzgerölle auf den Feldern hochgelegener Terrassen sind deutliche Hinweise auf die Anwesenheit von Kieslagern. Die höchstgelegenen und ältesten dieser Terrassenschotter sind oft tertiären Alters und be-

stehen dann aus ganz reinem Quarzkiese, der für Wegebauzwecke ganz vortrefflich ist. Allerdings sind diese tertiären Schotter durch die Denudation auch am stärksten in ihrem Zusammenhange gestört und oft nur in weit voneinander entfernten kleinen Partien hoch über den heutigen Tälern noch vorhanden. Sind mehrere solcher Ablagerungen auf den Hochflächen bekannt, so stelle man ihre Höhenlage fest und suche im zwischenliegenden Terrain Gebiete ab, deren Meereshöhe zu den bekannten Punkten stimmt. — Dabei ist allerdings Voraussetzung, daß das Gebiet nicht von tektonischen Störungen betroffen wurde, die jünger sind, als die Kiesablagerungen selbst.

Im Ursprungsgebiete der Täler, sowie da, wo diese keinen ebenen oder flach muldenförmigen, sondern V-förmigen Querschnitt besitzen, sind Kies- und Schotterablagerungen gewöhnlich nicht zu finden, sondern im ersten Falle durch eckigen Gehängeschutt, im letzteren durch den anstehenden Felsen ersetzt.

Sehr reich an Kieslagern sind die weiten Gebiete des norddeutschen Flachlandes, die während der Eiszeit bis hinab zum Rande der Mittelgebirge von der zusammenhängenden Decke des skandinavischen Inlandeises überzogen waren. Die gewaltigen Massen von Gesteinsschutt, die im Eise von Nord nach Süd bewegt wurden, erfuhren durch die Schmelzwasser eine weitgehende Aufbereitung nach ihrer Korngröße, und so entstanden neben mächtigen Tonlagern und ungeheuren Sandmassen auch eine Reihe gröberer Sedimente, die in allen Übergängen von grobem Mauersande bis zu mächtigen Packungen kleiner und großer Geschiebe führen. Die praktische Aufgabe, derartige Kies- und Schotterlager in bestimmten Gebieten aufzusuchen und zu verfolgen, ist aber durchaus nicht einfach und erfordert in jedem einzelnen Falle eine Untersuchung der geologischen und orographischen Verhältnisse eines größeren Gebietes. Wir wollen der größeren Klarheit halber auch hier wieder eine Sonderung der Gebiete des eigentlichen nordischen Diluviums und der unter wesentlich anderen äußeren Bedingungen entstandenen Randgebiete im Vorlande der mitteldeutschen Gebirge vornehmen.

Im ersteren Gebiete bilden die kiesigen Ablagerungen immer nur größere oder kleinere Einlagerungen in geschichteten Bildungen feineren Kornes. Die letzteren sind entweder in fließendem oder in stehendem Wasser abgelagert und im ersteren Falle entweder auf von Gletscherschmelzwassern überfluteten Hochflächen oder in großen Talzügen. Betrachten wir von diesen beiden Fällen zunächst wieder den ersten, die Überschüttung von mehr oder weniger ebenen Hochflächen vor dem Rande des Eises mit geschichteten Bildungen, so kommt es sehr darauf an, ob diese vor dem vorrückenden oder vor dem im Rückgange begriffenen Eise stattfand. Bewegte sich der Eisrand nach Süden weiter, so wurden die frisch gebildeten

Sedimente mit einer sie verhüllenden Grundmoränendecke überkleidet und dem suchenden Blicke entzogen, und nur durch spätere diese Lehmdecke durchschneidende Erosion konnten sie wieder an die Oberfläche gelangen.

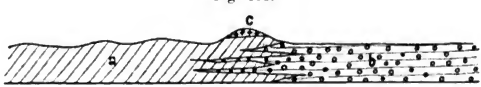
In Gebieten mit weit ausgedehnten Geschiebemergeldecken sind die Ränder von tiefen, sie durchschneidenden Erosionstälern auf das Auftreten eingeschalteter Kieslager zu untersuchen.

Alle anderen Funde von Kieslagern unter der Geschiebemergeldecke sind Zufallsfunde.

Anders liegt die Sache jedoch, wenn vor dem im Rückzuge begriffenen Eise die Sedimentbildung statt hatte. In diesem Falle liegt die gesamte überschüttete Fläche offen und der Beobachtung zugänglich da und es handelt sich jetzt darum, die Punkte aufzufinden, an denen die Bedingungen für den Absatz grobkörniger Bildungen am günstigsten waren. Dahin gehören in erster Reihe alle Gebiete, in denen an ausgedehnte Grundmoränenflächen nach Süden hin ebenfalls große sandige Gebiete sich anschließen, und zwar die Teile der Sandfläche, die der Geschiebemergelplatte am nächsten liegen. Die Grenze beider Bildungen bezeichnet häufig eine längere oder kürzere Stillstandsperiode in der Rückzugsbewegung des Eises und damit verbunden die Entwicklung großer zum Transporte groben Materiales geeigneter Wassermassen. Am günstigsten aber liegen die Verhältnisse für die Auffindung von Kies- und Schotterlagern, wenn solche Grenzgebiete durch das Auftreten von Endmoränen einen lange andauernden Stillstand des Eisrandes verraten.

Wenn eine Endmoränenkette (*c* in Fig. 193) auf der nördlichen (inneren) Seite von Geschiebemergel (*a*),

Fig. 193.



auf der südlichen (äußeren) von geschichteten Bildungen (*b*) begrenzt wird, so hat man in den letzteren in einer in verschiedener Breite bis unmittelbar an die Endmoräne heranreichenden Zone mächtige Kieslager zu erwarten, selbst wenn die obersten Schichten mehr sandiger Natur sein sollten. Die Mächtigkeit dieser oft sehr groben, steinigen Kiese und Schotter kann auf mehr als 20 m anschwellen. Je weiter von der Endmoräne entfernt, desto feinkörniger wird das Material, und in größerem Abstande, d. h. in 2—4 km Entfernung finden sich oftmals nur noch vereinzelte Kiesschmitzen in weitaus überwiegenden Sandmassen.

Endmoränenähnliche Bildungen finden sich aber nicht nur da, wo längere Pausen im Rückzuge des Eises eintraten, sondern auch in den mit zusammenhängenden Geschiebemergeldecken überkleideten Hochflächen und zwar sind das die sogenannten Durchragungen. Es sind das Hügel, die ihre Umgebung um einige Meter, oft aber auch recht beträchtlich, überragen und entweder in einzelnen rundlichen oder gestreckten Kuppen oder in langgestreckten, wallartig erscheinenden Kämmen auftreten. Der Geschiebemergel keilt sich an ihnen aus oder überkleidet sie mit einer meist dünnen Decke. Der

Fig. 194.



a Geschiebelehm. b Kies.

Kern dieser Hügel besteht aus geschichteten Bildungen und unter ihnen überwiegen die Kiese so sehr, daß man den Satz aussprechen kann:

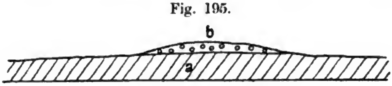
Durch eine Geschiebelehmplatte hindurchstossende Hügel und Wälle sind kiesverdächtig.

In vielen Fällen bestehen solche Wälle durch und durch aus Kies, wie der in Figur 194 dargestellte aus der Gegend von Treptow a. d. Rega, der zugleich als Typus für diese Art von Ablagerungen dienen kann.

Liegen mehrere Kieshügel in einer Richtung angeordnet und erheben sich zwischen ihnen weitere, aber mit Geschiebemergel überkleidete Kuppen, so führen auch diese oftmals unter dünner Grundmoränendecke mächtige Kieslager.

Eine topographisch ähnliche, geologisch aber etwas anders aufzufassende Form von Kieslagern ist die im folgenden Profile (Fig. 195) dargestellte, wo

Fig. 195.



a Geschiebelehm. b Kies.

auf einer Geschiebelehmdecke sich eine Kappe von Kies befindet. Diese ziemlich häufige Art von Kieslagern enthält aber gewöhnlich keine großen Massen des gesuchten Materials.

Es ist in der Entstehung unserer norddeutschen Glazialbildungen begründet, wenn neben den angeführten Arten des Vorkommens von Kies in den Hochflächen sich noch eine Reihe von anders gearteten ähnlichen Ablagerungen finden, für deren Aufsuchung sich wegen unserer Unbekannt-

schaft mit ihrer Entstehung keine festen Regeln aufstellen lassen. Ihre Auffindung ist nur durch eine sorgfältige und aufmerksame Begehung des Terrains zu erreichen und selbst dann noch in vielen Fällen vom Zufalle abhängig. Ich erwähne als Beispiel das Auftreten eines viele Tausende von Kubikmetern gröbsten Schotters enthaltenden Stockes als linsenförmige Einlagerung im unteren Geschiebemergel, der durch einen tiefen Einschnitt beim Bau einer Chaussee in Hinterpommern erschlossen wurde und seitdem einen ganzen Kreis mit Wegebaumaterial versorgt.

Im Gegensatze zur Ablagerung auf geschlossenen Hochflächen steht diejenige in ausgedehnten Talzügen. Hier haben sich die Schmelzwasser des Eises bereits zu größeren Flüssen und gewaltigen Strömen vereinigt, und die Bedingungen der Kiesbildung sind hier ähnliche, wie die bereits besprochenen in den Tälern des deutschen Berg- und Hügellandes. Gering ist die Hoffnung auf Auffindung von Kieslagern in den meilenbreiten, schwach geneigten Talböden der sogenannten Urstromtäler Norddeutschlands. Infolge ihres geringen Gefälles sind in ihnen fast ausschließlich stein- und kiesfreie sogenannte Talsande zum Absatze gelangt, und nur aus Bohrungen wissen wir, daß auch in ihnen an der Basis oft grobe Kiese auftreten. Ihre Ausbeutung ist aber wegen des fast überall sehr flachen Grundwassers unmöglich.

Nur an den Stellen, wo diese Haupttäler von bedeutenden Landrücken begrenzt werden und Seitentäler mit beträchtlichem Gefälle in sie einmünden, finden sich vor deren Mündung deltaartige Anhäufungen gröberen Materiales, in denen oft recht brauchbare Kieslager auftreten.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse in den kürzeren und schmäleren, aber meist viel tiefer eingeschnittenen Tälern nördlich vom baltischen Höhenrücken. Diese haben oft ein recht bedeutendes Gefälle und infolgedessen finden wir in ihnen an zahlreichen Stellen Kieseinlagerungen, ohne daß sich für ihre genaue Lage im Tale bestimmte Regeln aufstellen ließen. Hier genügt aber in den meisten Fällen eine sorgsame Begehung der Talsandflächen und vor allem der Gehänge der in sie eingeschnittenen heutigen Gewässer, um durch die kiesige Beschaffenheit der Oberfläche auf die Spuren der eingeschlossenen Kieslager geführt zu werden. Vor allem sind es aber auch hier wieder die unteren Teile und die Einmündungen stark geneigter Seitentäler, die günstige Aussichten eröffnen.

Kiesablagerungen in stehenden Gewässern, in vom Eisrande aufgestauten ausgedehnten Becken, sind aus Norddeutschland ebenfalls bekannt geworden. Es gehören die ausgezeichneten Stauseeterrassen am

Nordrande des baltischen Höhenrückens zwischen Rummelsburg und Bütow in Hinterpommern hierher. Ihre Existenz auch in anderen Teilen des Höhenrückens steht wohl außer Frage, ihre Aufsuchung und Erkennung erfordert aber ein bedeutendes Maß von Übung in der Deutung norddeutscher Oberflächenformen und kann an dieser Stelle nicht näher erörtert werden.

Zum Schlusse möge unter den Kiesablagerungen Norddeutschlands noch ein linear sehr ausgedehnter Horizont Erwähnung finden. Es ist dies die Ostseeküste, die nicht nur im Gebiete der diluvialen Steilufer, sondern auch an den Dünenstrecken unregelmäßig und von Strömung und Seegang abhängig bedeutende Kiesmassen führt, die bei starken Weststürmen oft völlig ihren Ort wechseln. Die Gewinnung von Kies an den fiskalischen Küstenstrecken ist verboten, aber an anderen Stellen wird dem Strande zu Wegebauzwecken vielfach schotterartiger Kies entnommen.

Am Südrande des dereinst vom Inlandeise bedeckten Gebietes, also am Fuße der mitteldeutschen Gebirge, der Sudeten, des Erzgebirges, Thüringer Waldes, Harzes und der Wesergebirge treffen wir auf ganz verschiedene Verhältnisse. Hier erzeugte die Verbindung der dem Eisrande nach Süden hin entströmenden Schmelzwasser mit den nach Norden oder Nordosten von den Gebirgen herabkommenden Flüssen eine eigentümliche Komplikation. Die vor der Eiszeit bereits vorhandenen Täler wurden durch die während dieser Periode freiwerdenden Wassermassen mit ungeheuren Schotterlagern teils nördlichen, teils südlichen Ursprunges (gemengte Schotter) vollständig ausgefüllt, die Flüsse verließen infolge dieser Erhöhung ihres Bettes vielfach ihren alten Lauf und schlugen neue Wege ein. Durch die Vollendung der geologischen Aufnahme von Sachsen und Ostthüringen sind uns namentlich diese Gebiete in dieser Hinsicht gut bekannt geworden. Nach dem Rückzuge des Eises der ersten Vergletscherung trat eine Periode der Erosion ein und die Flüsse schnitten sich wieder bis auf den felsigen Untergrund ein. Gleichzeitig wurde die Schotterausfüllung zum großen Teile wieder zerstört und blieb nur an den Rändern der Täler in Form von Teilstücken erhalten, die uns heute als oft unterbrochene Terrassen erscheinen. Diesen, 10, 20 und mehr Meter über dem heutigen Niveau des Flusses beginnenden Terrassen ist bei der Aufsuchung von Kies und Schottern in erster Reihe Beachtung zu schenken, und wo sie auftreten, wird man in ihnen gewöhnlich bedeutende Kieslager finden, deren Mächtigkeit bis zu mehr als 40 m anschwellen kann.

Die altdiluvialen Schotter in den Talstücken, die von dem heutigen Tallaufe abweichen, sind gewöhnlich mit Grundmoränenlehm überkleidet, aber ihr Zusammenhang ist in den meisten Fällen durch eine Reihe von offenen Beobachtungspunkten wahrscheinlich gemacht, so daß man auch

in den Zwischengebieten sie unter der Lehmdecke durch Bohrungen verfolgen kann.

Wesentlich einfacher stellt sich die Aufgabe des Kies und Schotter aufsuchenden Geologen im Alpengebiete und in dessen von der eiszeitlichen Vergletscherung bedeckt gewesenem Vorlande. Infolge des außerordentlich starken Gefälles der Täler sind hier fast alle von den Schmelzwassern des Gletschers abgelagerten Sedimente so grob, daß allenthalben Schotterlager von enormer Ausdehnung und Mächtigkeit die Talzüge begleiten und in Form von hohen Terrassen weit über die heutigen Talböden sich erheben. Sie fehlen nur in den engeren, inneralpinen Tälern, wo sie wohl durch spätere Erosion zum größten Teile wieder entfernt wurden. Dazu kommt, daß die Schotter wenigstens der letzten Eiszeit so wenig verwittert sind, daß im Gebiete ihrer Verbreitung die Oberfläche des Bodens vollkommen mit großen und kleinen Geröllen bedeckt ist. Diese jüngsten Diluvialschotter lehnen sich an die ausgedehnten Endmoränenzüge an, die in gewaltiger Ausdehnung beiderseits der Alpen von der Salzach und vom Tagliamento bis zum Mittelmeere vor den Mündungen aller großen Täler sich finden, und erstrecken sich von diesen Endmoränen aus mit immer feiner werdendem Korne weit stromabwärts.

Im nördlichen Vorlande der Alpen wurden durch die Gletscher vielfach Stauseen gebildet, in welche die einmündenden Gletscherströme mächtige Schotterdeltas hineinschoben, deren Oberfläche uns heute als hoch über den heutigen Seenspiegeln liegende Terrasse erscheint. Solche Terrassenschotter finden sich beispielsweise trefflich entwickelt in der Umgebung des Bodensees. Auch die große Zahl von während der Glazialzeit ausgefurchten Trockentälern in der Umgebung dieses Sees ist mit gewaltigen Schottermassen erfüllt.

Die ungeheure Menge der Schotterlager in den Alpen und ihrem Vorlande und die Auffälligkeit, mit der sie sich bemerkbar machen, enthebt uns also der Notwendigkeit, für ihre Aufsuchung eingehendere Regeln aufzustellen.

Eine allgemeine Bemerkung möge den Schluß dieser Anleitung bilden: Bei Aufsuchung von Kieslagern kann sehr zweckmäßig ein Bohrzeug von der S. 5—6 beschriebenen Beschaffenheit Verwendung finden. Wenn dasselbe auch aus groben Kiesen und Schottern wegen der geringen Größe des Löffels kein Material herausschafft, so gibt es doch einesteils durch das Fehlen dieser Probe, anderenteils durch das beim Bohren im Kies verursachte Geräusch deutlich dessen Anwesenheit zu erkennen. Eine Untersuchung der Beschaffenheit der Ablagerung und ihrer Brauchbarkeit für bestimmte technische Zwecke kann aber nur durch Aufgraben vorgenommen werden.

Aufsuchung und Untersuchung von Sandlagern

für feinere, weiße Glaswaren. Während für die Herstellung geringwertiger Gläser, dunkelgefärbter Flaschen z. B., jeder kieselsäurereiche Sand verwertbar ist, verlangt die Fabrikation weißer Gläser einen Sand, der an Eisenverbindungen so arm wie möglich ist. Solche Sande haben wir in Norddeutschland nur innerhalb der Tertiärformation, speziell in den Abteilungen, welche fluviatile oder lakustrine Süßwasserbildungen mit Braunkohlenflözen führen. In diesen verschiedenen deutschen Braunkohlenformationen, deren Alter vom jüngeren Eocän bis zum oberen Miocän reicht, finden sich neben Kohlenletten, hellen Tonen und Braunkohlen mächtige Lager von Sand. Die ganz feinen Sande, die man als Formsande bezeichnet, besitzen meist eine dunkle, bräunliche Farbe und erweisen sich schon dadurch als unbrauchbar für unsere Zwecke. Aber auch die dem Auge schneeweiß erscheinenden Sande sind nur in dem Falle verwertbar, daß sie fast oder völlig frei von Glimmer sind, oder durch Schlämme von diesem befreit werden können. Die schneeweißen Glimmerblättchen enthalten nämlich eine so große Menge von Eisensilikat, daß die aus ihnen hergestellten Gläser einen starken Stich ins Grüne erhalten, ja bei größerer Dicke direkt grün gefärbt sind. Man erkennt den Glimmergehalt sehr leicht, wenn man eine Probe des Sandes zwischen den Handflächen reibt; dabei bleiben die Glimmerblättchen an der feuchten Haut haften, und man kann leicht erkennen, ob viele vorhanden sind. Brauchbar sind dagegen schneeweiße, nicht ganz feine Sande ohne Glimmer und gröbere, dann meist mehr oder weniger hellgrau gefärbte Sande und Kiese, in denen man bei genauer Prüfung mit bewaffnetem Auge keine anderen Mineralien wahrnehmen kann, als Quarz und höchstens ein vereinzeltes Bröckchen schwarzen Kieselschiefers. Die Nachforschung nach so beschaffenen Sanden hat sich natürlich auf solche Gebiete zu beschränken, von denen das Zutagetreten einer Braunkohlenformation bekannt ist. Der Ausstrich der Quarzsandschichten verrät sich gewöhnlich durch die Unfruchtbarkeit des Bodens. Er ist für Ackerkultur wenig geeignet, sondern trägt Heide oder Kiefernwald; der Boden ist in seinen obersten 2—3 Dezimetern etwas humifiziert und die Vermischung des weißen Quarzsandes mit dunklem Humus erzeugt eine ganz charakteristische, bläuliche Bodenfärbung.

Um den Wert eines aufgefundenen Quarzsandes für die Herstellung weißer Gläser zu prüfen, d. h. um die Gesamtmenge des in ihm enthaltenen Eisens festzustellen, verfährt man folgendermaßen:

Der Sand wird mit Wasser durchgeschüttelt, die etwaige Trübe abgegossen und der gewaschene Sand getrocknet. Hierauf wird eine Probe im Achatmörser auf das feinste zerrieben, so daß das Pulver zwischen den Fingernägeln kein Gefühl mehr erzeugt, und ein Gramm davon abgewogen und mit dem fünffachen Volumen einer Mischung von Natrium- und Kaliumkarbonat im Platintiegel gut gemischt. Dann bringt man die Mischung zum

Schmelzen, indem man das Erhitzen mit kleiner Flamme beginnt und die Temperatur allmählich steigert. Wenn in der bei lebhafter Rotglut und zuletzt über dem Gebläse erhitzten, völlig klaren Flüssigkeit keine Kohlensäureentwicklung mehr stattfindet, so ist die Aufschließung beendet. Man bringt den Tiegel nach dem Erkalten in ein Glasgefäß, übergießt mit verdünnter Schwefelsäure und löst den Kuchen auf. Die Flüssigkeit filtriert man durch Glaswolle in einen Kolben und reduziert mittels Zink das Eisenoxyd in bekannter Weise. Ist die Reduktion beendet (Prüfung mit Kalium-Rhodanat), so titriert man mit einer Lösung von übermangansaurem Kali von bekannter Wirkung und erhält dadurch den Gehalt an Eisen, den man gewöhnlich als Oxydul (FeO) bestimmt. Sande mit mehr als 0,1 Prozent FeO geben grünliche Gläser.

Aufsuchung von Formsand. Eine zweite technisch wichtige Sandart ist der Formsand, der in Eisengießereien für die Herstellung von Gußformen Verwendung findet. Auch er ist auf die tertiären Braunkohlenbildungen beschränkt, in denen er ausgedehnte, aber meist nicht sehr mächtige Einlagerungen bildet. Seine Auffindung ist gewöhnlich mit der Anlage größerer unterirdischer Gruben oder Tagebaue verknüpft, bei denen Braunkohle und Ton ausgebeutet werden, und seine Gewinnung ist gewöhnlich ein Nebenbetrieb derartiger Industrien. Aus diesem Grunde sind weitere Hinweise entbehrlich.

Kapitel 43.

Die Untersuchung von Torfmooren für technische und landwirtschaftliche Zwecke.

Die Methoden, die bei der Untersuchung von Torfmooren zur Anwendung gelangen, sind verschieden je nach dem Zwecke, den man dabei verfolgt. Es kann sich darum handeln, festzustellen, 1. ob das betreffende Moor sich eignet zur Anlage von sogenannten Moorkulturen, 2. ob es die Gewinnung eines guten Brennmaterials in ausreichender Menge gestattet, 3. ob es zur Fabrikation von Torfstreu geeignet ist, oder 4. ob es der Schüttung eines Straßen- oder Eisenbahndammes Schwierigkeiten zu bereiten vermag.

Auf die Verwendung der Moore zu chemischen Zwecken, zur Herstellung von Alkohol oder stickstoffhaltigen Düngemitteln, brauche ich hier nicht einzugehen, da derartige Unternehmungen sich vorläufig noch zu sehr im Stadium des Versuches befinden.

1. Moorkulturen. Ich muß hier als bekannt voraussetzen, was man darunter versteht, und bemerke nur, daß man zwei Arten von Moorkulturen unterscheidet, bei deren einer der auf das Moor aufzubringende Boden dem Untergrunde entnommen wird, während er bei der zweiten Art

von anderen Stellen herbeigeführt wird. Wenn man sehen will, ob ein Moor sich für Moorkulturen eignet, so stellt man zunächst fest, welche dieser beiden Arten der Sandaufbringung in Anwendung kommen kann. Die erstgenannte ist nur dann ausführbar, wenn die Mächtigkeit des Moores einen bestimmten Betrag, der auf höchstens $^3/_4$ m angenommen werden kann, nicht überschreitet. Es handelt sich also darum, die Mächtigkeit des Moores genau festzustellen. Man ermittelt sie in einfachster Weise mit Hilfe von Bohrern von der im ersten Kapitel angegebenen Konstruktion und untersucht das Moor möglichst auf parallelen Linien, deren Abstand voneinander zweckmäßigerweise 50 m nicht überschreitet, unter Umständen aber noch enger gewählt werden kann. Die Zahl der Bohrungen, die man auf diesen Linien niederbringt, resp. der Abstand der einzelnen Bohrungen voneinander ergibt sich ganz von selbst bei Ausführung der Arbeit, indem man, wenn die Mächtigkeit des Moores eine sehr gleichmäßige ist, selbstverständlich die einzelnen Bohrlöcher in größeren Entfernungen voneinander stoßen kann, als wenn jene auf kurze Strecken rasch wechselt. Bei sorgfältiger Abbohrung ist es möglich, vom Untergrunde des Moores eine Karte anzufertigen, welche die Mächtigkeit des Torfes durch Linien ausdrückt, ähnlich den Höhenlinien der topographischen Karten, nur mit dem Unterschiede, daß hier die Linien Flächen von gleicher Moormächtigkeit umschließen. Man kann als Abstand solcher Linien voneinander je nach den Verhältnissen viertel, halbe oder ganze Meter wählen. Ist die Mächtigkeit festgestellt, so hat sich die Untersuchung in denjenigen Mooren, die durch ihre weniger als $^3/_4$ m betragende Torfmächtigkeit geeignet erscheinen für die Entnahme des Sandauftrages aus dem Untergrunde des Moores, auf die Beschaffenheit des Sanduntergrundes zu erstrecken. Dieser ist nämlich nur dann brauchbar, wenn er aus einem nicht zu feinkörnigen Sande besteht, der frei von schädlichen Bestandteilen, vor allen Dingen von Schwefelsäure und Schwefeleisenverbindungen, ist. Die Feststellung des Vorkommens oder Fehlens dieser Bestandteile ist Sache der chemischen Analyse, und man wird deshalb gut tun, die durch Aufgrabungen an einer ganzen Anzahl von Punkten gewonnenen Proben des Untergrundes einem Chemiker zur weiteren Untersuchung anzuvertrauen. Ist das Moor so mächtig, daß an eine Entnahme des Auftrages aus dem Untergrunde nicht zu denken ist, so kommt es darauf an, festzustellen, ob innerhalb des Moores inselartige Sandflächen auftreten, oder ob an seinen Rändern geeignete Sandmassen in solcher Entfernung sich finden, daß die Erdbewegung nicht zu kostspielig wird. Ist dies der Fall, so ist auch dieses Material vorher einer Untersuchung auf etwaiges Vorkommen schädlicher Beimengungen zu unterwerfen. Am geeignetsten für Moorkulturen haben sich allezeit unverwitterte Diluvialsande erwiesen, da sie erstens einen nennenswerten Feldspatgehalt besitzen, der bei der Verwitterung Pflanzen-

nährstoffe abzugeben vermag, und zweitens über einen Kalkgehalt verfügen. der die Kosten der unbedingt erforderlichen künstlichen Kalkung der Moorkulturen vermindert. Ein grobes Korn dieser Sande und selbst ein Auftreten von zahlreichen kleineren Steinen in ihnen ist kein Hindernis für die Verwendung zu Moorkulturen. Selbst sehr sandige Geschiebemergel, die infolge ihres reichen Sandgehaltes leicht zerfallen, sind in vielen Fällen mit Erfolg als Auftrag auf Mooren verwendet worden.

Der dritte Punkt, der der Untersuchung bedarf, ist die Beschaffenheit des Moores selbst. Der Geologe wird sich darauf zu beschränken haben, an einer Anzahl von Stellen aus verschiedenen Tiefen Proben des Moores zu entnehmen und diese einer weiteren Untersuchung auf Stickstoff und andere Körper zu unterwerfen.

Von B. Tacke[1]) sind für die Moorversuchstation in Bremen den praktischen Bedürfnissen angepaßte Methoden für die physikalische und chemische Untersuchung der Moorböden ausgearbeitet worden, auf die hier verwiesen werden muß.

Schon die Entnahme der Proben erfordert besondere Vorschriften, da es vor allen Dingen darauf ankommt, Moorproben in ihrem natürlichen, also möglichst frischen Zustande bei der Untersuchung zu verwenden. Um die Güte und Kulturfähigkeit eines Moorbodens abschätzen zu können, ist es notwendig, Beobachtungen über den Grad seiner Zersetzung, über die Zusammensetzung der moorbildenden Pflanzen und über die gegenwärtige Pflanzendecke anzustellen.

Für die Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit ist die Bestimmung des scheinbaren spezifischen Gewichts oder des Volumengewichts von Wichtigkeit. Tarierte würfelförmige Blechgefäße, deren eine Wand durchlocht ist, von 10 cm Höhe, entsprechend einem Würfel von 1000 ccm Inhalt, werden, wenn dies angängig, an Ort und Stelle in den Moorboden eingedrückt, ausgehoben und die überschießenden Teile mit einem scharfen Messer abgeschnitten. Sodann wird der Würfel zusammen mit dem Blechgefäß gewogen. Darnach wird die Moorprobe in einem Trockenschranke auf einer flachen Hürde ausgebreitet, bei 90° C. getrocknet und nach dem Erkalten wieder gewogen.

Handelt es sich um die Untersuchung eingesandter Proben, so wird das sorgfältig gemischte Material mit den Händen so dicht zusammengepreßt, als es ohne Aufbietung übermäßiger Kraft geht, und dann mittels der tarierten Blechformen ein Würfel daraus ausgestochen.

Bei der chemischen Analyse der Moorproben ist auf die Bestimmung der Trockensubstanz, des Aschengehaltes und besonderer einzelner Bestandteile Gewicht zu legen.

Die Veraschung wird am besten in einer möglichst flachen, ge-

[1]) Vergl. B. Tacke, Untersuchung der Moorböden, in J. König, Die Untersuchung landwirtschaftlich und gewerblich wichtiger Stoffe. Berlin 1898. pag. 78 ff.

räumigen Platinschale ausgeführt. Die Hitze soll dabei die dunkle Rotglut nicht überschreiten. Der Kohlensäuregehalt der Asche ist zu bestimmen und von den Aschenprozenten in Abzug zu bringen.

Soll die Analyse des Moorbodens lediglich Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Kulturfähigkeit bieten, so begnügt man sich in den meisten Fällen damit, die Torfasche mit konzentrierter Salzsäure unter Zusatz von etwas Salpetersäure auszukochen und nach Abscheidung der Kieselsäure im Filtrate Kalkerde und Phosphorsäure zu bestimmen.

Bei genaueren Untersuchungen verwendet man ungefähr 10 g der Asche zu einem Wasserauszuge und bestimmt in diesem Kalkerde, Magnesia, Kali, Natron, Schwefelsäure und Chlor. Der beim Wasserauszug verbleibende Rückstand wird mit konzentrierter Salzsäure ausgekocht, und nach Abscheidung der Kieselsäure werden Tonerde, Eisenoxyd, Kalkerde, Magnesia, Kali, Natron und Phosphorsäure bestimmt. Der dabei verbleibende Rückstand wird nach Auskochung mit Natriumkarbonat als Sand bezeichnet.

Die Bestimmung einzelner Bestandteile und Eigenschaften hat sich namentlich auf Stickstoff, Schwefel, Gesamtphosphor, pflanzenschädliche Stoffe, auf die Absorption wichtiger Pflanzennährstoffe und auf die freien Humussäuren zu erstrecken.

Zur Feststellung der freien Humussäuren in Moorböden ist von B. Tacke[1]) ein besonderes Verfahren angegeben worden. In einem als Zersetzungsgefäß dienenden Glaskölbchen wird aufs feinste zerkleinerter frischer Moorboden mit ausgekochtem destillierten Wasser aufgeschlämmt und durch den ganzen Apparat ein Strom von Wasserstoffgas, das vorher je durch eine Wasserflasche mit konzentrierter Schwefelsäure und Kalilauge gereinigt worden ist, eine Stunde lang hindurchgeleitet, um alle Luft zu verdrängen. Der Zersetzungsapparat ist mit einer Pettenkoferschen Absorptionsröhre verbunden, die mit 100 ccm $\frac{n}{5}$ oder $\frac{n}{10}$ Normalnatronlauge gefüllt wird. Der hindurchgehende Gasstrom tritt in einem mit Wasser gefüllten Glasgefäße aus. Man bringt nun durch ein zweites, mit Quetschhahn verschließbares Rohr in gekochtem destillierten Wasser aufgeschlämmtes Calciumkarbonat in das Zersetzungsgefäß hinein und schickt unter wiederholtem Schütteln des letzteren drei Stunden lang einen Wasserstoffstrom durch den Apparat hindurch. Darauf versetzt man den Inhalt des Absorptionsrohres mit reinem Chlorbaryum und titriert unter Anwendung von Phenolphthalein als Indikator mit $\frac{n}{5}$ oder $\frac{n}{10}$ Normalsalzsäure. Die Zersetzung des in dem Absorptionsrohre gebildeten Na_2CO_3 verläuft nach folgender Reaktion:

$$Na_2CO_3 + HCl = NaHCO_3 + NaCl.$$

[1]) Chem. Zeitung 1887, pag. 174.

Da das doppeltkohlensaure Natron auf Phenolphthalein nicht einwirkt, so tritt nach Verlauf dieser Reaktion Entfärbung ein.

1 ccm Normalsalzsäure entspricht 0,2219 g CO_2; 1 ccm $\frac{1}{10}$ Normalsalzsäure entspricht 0,02221 g CO_2.

Unter Beachtung der von Küster[1]) und Lange[2]) veröffentlichten Untersuchungen wird der Gesamtalkaligehalt der ursprünglich angewandten $\frac{n}{5}$ oder $\frac{n}{10}$ Natronlauge mit $\frac{n}{5}$ oder $\frac{n}{10}$ Salzsäure unter Anwendung von Methylorange als Indikator bis zur Normalfärbung festgestellt. Die Normalfärbung wird bestimmt durch eine gleich konzentrierte wäßrige, mit Kohlensäure gesättigte Lösung von Methylorange.

Der Gehalt an Natriumkarbonat der im Pettenkoferschen Absorptionsrohre enthaltenen Lauge ergibt sich aus der Differenz der Titration des Gesamtalkalis und der Titration der natriumkarbonathaltigen Lauge unter Verwendung von Phenolphthalein als Indikator.

2. Ausnutzung der Moore zu Heizmaterial. Die Untersuchung eines Torfmoores darauf hin, ob es geeignet ist, einen brauchbaren, für Heizzwecke geeigneten Brenntorf zu liefern, ist sehr einfach. Man gräbt an verschiedenen Stellen im Moore Probelöcher, formt aus dem Material Probestücke, läßt sie trocknen und prüft dann durch praktische Anwendung ihre Qualität. Anders liegt dagegen die Sache, wenn es sich um eine Fabrikation im größeren Maßstabe handelt, bei welcher ein Brennmaterial von höherem Werte auf künstlichem Wege erzielt werden soll, d. h. also bei der beabsichtigten Fabrikation von Torfbriketts und von Torfkoks. Die letztere Verwertung wird nur da zur Anwendung gelangen, wo man Verwendung für das bei der Fabrikation sich ergebende Gas hat, oder vielmehr die Koksgewinnung wird immer nur ein Nebenprodukt der Torfgasfabrikation sein. Bei der Verwendung des Torfes zu Torfbriketts kommt in Frage einmal der Aschengehalt, zweitens die Struktur und drittens die chemische Zusammensetzung des Torfes. Der Aschengehalt wird bestimmt, indem man ein kleines abgewogenes Quantum von bei 100° C. getrocknetem Torf in einem Porzellantiegel so lange erhitzt, bis der Kohlenstoff vollständig verbrannt ist, was man daran erkennt, daß beim Beendigen des Erhitzens in der Substanz kein Glimmen mehr wahrnehmbar ist. Man läßt die Asche im Exsikkator erkalten und wägt sie alsdann. Die Struktur des Torfes ist an Ort und Stelle durch Aufgrabung oder durch Entnahme mit einem größeren Teller- oder Löffelbohrer zu prüfen. Je schwärzer und gleichmäßiger das Aussehen des Torfes ist, umso besser eignet er sich zur

[1]) Zeitschr. f. anorgan. Chemie 1897, Bd. 13, pag. 127 ff.

[2]) Zeitschr. f. angew. Chemie 1897, pag. 41 ff.

Brikettfabrikation; je heller und je loser, faseriger struiert er ist, umso ungeeigneter wird er erscheinen. Bei intensivem Betriebe wird es natürlich nötig sein, auch die Mächtigkeit des Torfmoores vorher genau festzustellen, da bei geringmächtigen Mooren die auszubeutenden Flächen leicht einen übermäßigen Umfang annehmen würden. Diese Prüfung erfolgt in derselben Weise, wie bei 1. erwähnt, durch dünne eiserne Stangen, deren Länge bis zu 5 m betragen darf.

3. Gewinnung von Torfstreu. Einer derartigen Verwendung sind alle solchen Moore fähig, die in der Hauptsache durch die vegetative Tätigkeit von Moosen aus der Gruppe der Sphagneen und Hypneen aufgebaut sind (Hochmoore). Sie zeichnen sich durch ihre außerordentlich lose Struktur aus, in welcher man die einzelnen Moosstämmchen und Blättchen noch deutlich erkennen kann, durch ihre helle, gelbliche Farbe, durch ihr außerordentliches Aufsaugungsvermögen für Flüssigkeiten und durch ihr im trockenen Zustande sehr geringes spezifisches Gewicht. Solche Moosmoore lassen sich durch direkte Untersuchung mittels Bohrungen erkennen, verraten sich aber auch ohne diese schon in allen den Fällen, in denen sie im naturwüchsigen Zustande noch heute daliegen, durch die auf ihnen sich findende Pflanzendecke. Diese ist durch eine Reihe von niedrigen, strauchigen Pflanzen charakterisiert, die im Kapitel 19 aufgezählt sind. Auch orographisch treten die Moosmoore vielfach hervor, wenn sie den Charakter der sogenannten Hochmoore besitzen. Es sind das Moore, die in den meisten Fällen nicht von höhergelegenem Terrain eingeschlossen werden, sondern vielmehr ihre Umgebung überragen und von den Rändern nach ihrer Mitte zu ansteigen, ein Verhalten, welches dem der meisten aus schwarzem Grastorf aufgebauten Grünlandsmoore direkt entgegengesetzt ist. Während aber die Hochmoore wohl ausschließlich zugleich Moosmoore sind, sind durchaus nicht alle Grünlandsmoore frei von Moostorf. Es gibt vielmehr auch unter ihnen eine ganze Anzahl, die entweder ganz oder zum Teil aus Moortorf aufgebaut sind, und zwar sind das solche, bei denen der Vertorfungsprozeß eines Seebeckens durch schwimmendes Moos eingeleitet, bis zum Verschwinden des Wasserspiegels weitergeführt und hierauf durch an der Oberfläche wachsendes Moos aus den genannten zwei Familien zu Ende gebracht ist. Man wird also beim Aufsuchen von Moostorflagern gut tun, auch die in geschlossenen Depressionen liegenden Moore nicht unbeachtet zu lassen.

4. Die Frage, ob ein Moor der Hindurchführung eines Eisenbahndammes Schwierigkeiten zu bereiten geeignet ist oder nicht, ist für den Ingenieur sehr wichtig. Ungenügende Untersuchung der Moore in diesem Sinne hat bei zahlreichen Eisenbahnbauten schwere Kosten verursacht, die im anderen Falle leicht zu vermeiden gewesen wären. Es kommt bei dieser Prüfung

an auf die Mächtigkeit des Moores, sowie auf die Struktur und die Beschaffenheit des Untergrundes. Geringmächtige Moore mit festem Sanduntergrunde können bedingungslos als ungefährlich bezeichnet werden. Auch mächtigere Moore, deren Struktur eine gleichmäßig dichte ist, und deren Untergrund ebenfalls aus Sand besteht, sind geeignet, einen aufgeschütteten Damm zu tragen. Anders liegt die Sache, wenn der Untergrund eines Moores aus Wiesenkalk oder aus jenem eigentümlichen, aus feinsten organischen Substanzen zusammengesetzten, grünlichen, modderartigen Schlamme besteht, der in der Geologie mit dem dem Schwedischen entlehnten Kunstausdrucke „Gytja“, bei uns jetzt mit dem Namen Faulschlamm bezeichnet wird. Besitzt der Faulschlamm-Untergrund eine große Mächtigkeit, so liegt die Gefahr nahe, daß das Moor durchbricht, der Damm in die Tiefe sinkt und auf dem Grunde des Moores seitlich sich ausbreitet, und es kann dann das Bemühen, durch fortgesetzte Schüttung den Damm zum Stehen zu bringen, entweder nur mit ungeheuren Geldopfern durchgeführt werden oder erweist sich womöglich trotzdem als ganz undurchführbar. Ergibt die vorherige Untersuchung eines Moores also eine große Moormächtigkeit, wässerige Konsistenz des Moores und eine der beiden aufgeführten Bildungen in größerer Mächtigkeit (mehr als 1—2 m) als tieferen Untergrund, so wird es immer empfehlenswert sein, lieber die Linie abzuändern und um das Moor herumzuführen, oder es an einer anderen, besser geeigneten Stelle zu kreuzen, als auf gut Glück die Dammschüttung ins Werk zu setzen. Es wird bei derartigen Mooruntersuchungen nötig sein, auch größere Moortiefen zu durchbohren; steigen diese über 5 m, so ist eine Bohrstange von der im ersten Kapitel angegebenen Konstruktion nicht mehr möglich, weil sie beim Aufsetzen abbrechen würde. Man tut dann gut, mehrere Stangen von je 4 m Länge zu nehmen, die sich aufeinander schrauben lassen; man stößt dann zunächst die am unteren Ende mit dem Löffel versehene bis nahezu an ihr Ende in das Moor hinein und schraubt dann die zweite und später eventuell die dritte Stange auf.

Es ist nötig, wenn man geringe Moortiefen findet, noch wenigstens 2 m tief in den Untergrund des Moores hinein zu bohren, um sich zu überzeugen, ob nicht etwa darunter noch einmal eine Moormasse von größerer Mächtigkeit folgt. Es ist nämlich ein allerdings nicht sehr häufiger Fall, daß ein See zunächst vertorfte und daß dann in dieses Becken große Sand- oder Tonmassen hineintransportiert wurden, die durch ihren Druck die Moordecke zusammenpreßten, so daß ein neues, flaches Wasserbecken sich bildete. Dieses vertorfte dann von neuem und lieferte eine zweite Torfdecke, die von der ersten durch eine einen anscheinend soliden Untergrund darstellende Erdschicht getrennt ist.

D. Untersuchungsmethoden, das Wasser betreffend.

I. Offene Wasserflächen.

Kapitel 44.

Die Ermittelung der Wassertiefe.

1. Die Messungsapparate. Der einfachste Messungsapparat bei nicht bedeutenden Wassertiefen ist ein eingeteilter Meßstab, die Peilstange. Bei ihrer Anfertigung ist darauf zu achten, daß die Einteilung so einfach und klar ist, daß die ermittelte Tiefe von allen Seiten ohne weiteres leicht und sicher erkannt werden kann. Da aus verschiedenen Gründen eine sehr große Genauigkeit bei Tiefenmessungen weder zu erzielen noch durchaus notwendig ist, so genügt im allgemeinen eine Einteilung der Peilstange in Dezimeter, wobei man sie abwechselnd schwarz und weiß anstreicht und jeden vollen Meter durch einen roten Ring markiert; die Beischreibung von Zahlen ist natürlich nur bei diesen erforderlich. Am besten sind runde Stangen, deren Länge sich nach den allgemeinen Verhältnissen, d. h. nach der Tiefe der zu messenden Gewässer zu richten hat. Man kommt bei Flüssen im allgemeinen mit Peilstangen von 3 m Länge bereits aus. Will man größere Tiefen in derselben Weise messen, so ist es zweckmäßig, das untere Ende der Peilstange in einer Länge von $^1/_4$—$^1/_2$ m massiv aus Eisen anzufertigen, damit es durch sein Gewicht die senkrechte Stellung im Wasser befördert. Man hat auf diese Weise Tiefen von 13 und selbst von 15 m im Rheine noch mit der Peilstange messen können. Da man es häufig mit weichem Boden im Flußbette zu tun hat, so würde eine einfache zugespitzte Stange tief in ihm einsinken und das Ergebnis der Messung würde zu hoch werden. Man verhindert dies, indem man das untere Ende der Peilstange mit einer horizontalen Scheibe aus Eisenblech versieht, welche durch den größeren Widerstand sofort das Erreichen des Grundes beim Messen anzeigt. Da eine hölzerne Stange auf härterem Untergrunde leicht abgenutzt und dadurch unbrauchbar wird, so tut man gut, die beiden Enden mit Eisenblech beschlagen zu lassen.

Bei größeren Wassertiefen, vor allem in stehenden Gewässern, wird man sich des Lotes zur Tiefenermittlung bedienen müssen. Man versteht darunter einen schweren Körper, der an einer Leine senkrecht in die Tiefe hinabgelassen wird und durch das Lockerwerden der Leine anzeigt, daß er den Grund erreicht hat. Die Länge des Leinestückes bis zum Wasserspiegel zeigt dann die an dem betreffenden Punkte vorhandene Wassertiefe an. Man wählt als Lotkörper zweckentsprechend ein zylindrisches Gefäß aus Eisenblech, welches mit Blei so weit belastet wird, daß auch bei den größten etwa in Betracht kommenden Tiefen noch ein schnelles Sinken

des Lotes gewährleistet wird. Bei Seen und Flüssen, deren Tiefe 50—80 m nicht übersteigt, genügt ein Lot im Gewicht von 2,5 kg vollkommen. Mittels eines solid und dauerhaft gearbeiteten Hakens wird das Lot mit der Lotleine in Verbindung gesetzt; dieselbe kann entweder aus einem pflanzlichen Faserstoffe oder aus Stahldraht bestehen. Der letztere (Klaviersaite) wird wegen seines viel geringeren Volumens bei größeren Tiefen immer vorgezogen werden. Bei geringeren Tiefen dagegen benutzt man am besten starke Hanfschnuren, die durch verschiedenfarbige, eingebundene Fäden oder Zeugstückchen nach Metern eingeteilt sind. Da nasser Bindfaden eine andere Länge besitzt als trockener, so muß die Einteilung natürlich am nassen erfolgen. Man tut gut, nach je 5 m einen Faden einzubinden, der eine andere Farbe besitzt als die Fäden, welche den Meterabstand angeben, und durch eine dritte Farbe je den zehnten Meter zu bezeichnen. Ebenso zweckmäßig ist es, von 10 zu 10 m mit der Farbe zu wechseln, indem man z. B. von 1—10 m weiße, von 10—20 rote, von 20—30 blaue Fäden in die Lotleine einknüpft, so daß man beim Herausziehen der Leine immer nur bis zum Beginn der nächstfolgenden Farbe zu zählen braucht, und blau 3 also beispielsweise eine Tiefe von 23 m angibt. Für Messungen größeren Tiefen dagegen wird die Zählung automatisch durch ein mit dem Meßapparat verbundenes Zählwerk ausgeführt. Will man sich von der verschiedenen Ausdehnung des Bindfadens im Wasser unabhängig machen, so kann man die Lotleine vorher wasserdicht imprägnieren, indem man sie vor dem Gebrauche sich mit Leinöl vollsaugen läßt und alsdann mit in Wachs getränkten Lappen abreibt.

Bei stehenden Gewässern und im Falle ruhiger Lage des Bootes, von dem aus die Lotung ausgeführt wird, kann man sich mit Vorteil eines kleinen Apparates bedienen, den Ule in folgender Weise beschreibt [1]).

Der Apparat besteht, wie die Figur 196 zeigt, aus einem an den Bord (*B*) des Fahrzeugs anschraubbaren Träger (*T*), auf welchem eine horizontale Stange (*ST*) aufgelegt ist. Um die Stange in ihrer Lage möglichst sicher zu fixieren, sind die Streben (*D*) angebracht, welche durch Klemmschrauben (*d*) an den Träger (*T*) befestigt werden. Die langen Ausschnitte am unteren Ende der Streben gestatten eine beliebige Verstellung der Stange, so daß diese bei schräger Stellung des Trägers doch in horizontale Lage gebracht werden kann. Stange und Träger werden ebenfalls durch Klemmschrauben (*st*) zusammengehalten.

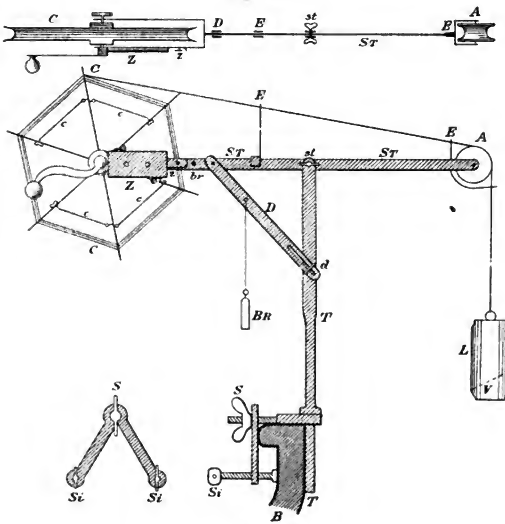
Die Befestigung des Trägers am Bord des Fahrzeuges erfolgt durch Schrauben (*S* und *Si*) in der Weise, daß zunächst durch Anziehen der oberen Schraube (*S*) der Bord fest zwischen dem unteren Ende des Trägers und dem die unteren Schrauben (*Si*) tragenden Winkeleisen eingeklemmt wird

[1]) Petermanns Mitteilungen 1894, S. 213.

und hierauf dann auch diese Schrauben (*Si*) gegen die Wandung des Bootes angeschraubt werden.

Die horizontale Stange (*St*) geht nach beiden Enden in eine Gabel über; von diesen Gabeln nimmt die eine die Gleitrolle (*A*), die andere die Seilrolle (*C*) auf. Als Seil dient die von Richter eingeführte Drahtlitze (Litze aus bestem verzinnten und gerichteten Patentgußstahldraht, 0,3 mm, dreidrähtig)[1]). Die Seilrolle (*C*) ist so konstruiert, daß sie zusammengelegt werden kann. Die vier zwischen den Speichen befindlichen Gestänge (*c*)

Fig. 196.



werden nach Abwicklung der Litze auf eine zweite, besondere Rolle losgelöst, und dann lassen sich die Speichen, die durch Scharniere an der Achse der Seilrolle befestigt sind, umlegen. Durch diese Vorrichtung wird es möglich, die immerhin umfangreiche Seilrolle einem verhältnismäßig schmalen Kasten einzufügen. Der Umfang der Seilrolle erreicht nämlich nahezu einen Meter; derselbe ist so bemessen, daß die zur Hälfte aufgerollte Litze ihn genau auf 1 m erweitert. Bei ganz aufgerollter Litze beträgt der

[1]) Diese Litze liefert die Fabrik von Felten & Guilleaum in Mühlheim a. Rh. zu 8 M. pro 100 m.

Umfang wenig mehr als 1 m. Durch eine solche Konstruktion war die Anbringung eines Zählwerkes (*Z*) ermöglicht. Die Bestimmung der Tiefe durch Zählen der zur Abwicklung der Leine notwendigen Umdrehungen der Seilrolle halte ich für weit zweckmäßiger, als die allgemein übliche Bestimmung durch Abzählen von an der Leine angebrachten Einteilungsmarken. Letztere Bestimmung erfordert eine sorgfältige Berücksichtigung der durch die Belastung der Leine bewirkten Dehnung derselben, was bei dem Zählen der Umdrehungen ganz in Wegfall kommt, weil ja bei jeder Messung die Länge der Leine von neuem gemessen wird. Das Zählwerk kann übrigens mittels einer sehr einfachen Vorrichtung (*z*) beliebig ein- und ausgeschaltet werden.

Vor dem Gebrauch des Apparats befindet sich die Drahtlitze auf einer zweiten, oben bereits erwähnten Rolle. Diese hat eine eigene Kurbel, um das Abnehmen und Aufwickeln der Litze auf die Seilrolle zu erleichtern. Bei dem Aufwickeln wird die Litze durch die an die horizontale Stange (*St*) angefügten Ösen (*E*) hindurchgeleitet. Letztere erfüllen zugleich den Zweck, der Leine während des Lotens eine bestimmte Lage zu geben. Verwicklungen und Knickungen der Litze, welche bei zu schnellem Abrollen leicht eintreten könnten, werden dadurch verhindert. Trotzdem ist besonders bei dem Überleiten der Litze von der Seilrolle des Apparats auf die zweite Rolle oder umgekehrt immer noch mit großer Vorsicht zu verfahren, da die aus drei Drähten zusammengedrehte Litze sehr leicht zur Bildung von Schlingen und Knicken führt. Zum Festhalten der Seilrolle während der Messung dient eine gabelförmige Bremse (*Br*), welche (bei *br*) um die Enden der Speichen herumgreift.

Der ganze Apparat ist mit Ausnahme der Gleitrolle (*A*) und des Zählwerkes (*Z*) aus Eisen konstruiert. Die Gleitrolle besteht aus Holz, das Zählwerk aus Messing. Die Zweckmäßigkeit des Apparats liegt nun vor allem darin, daß derselbe vollständig zusammenlegbar ist. Auch die zur Befestigung am Bord dienenden Schrauben (*S* und *Si*) können abgenommen werden. Zusammengelegt findet der Apparat Platz in einem 80 cm langen, 15 cm hohen und 12 cm breiten Kasten. In diesem Kasten ist aber noch genügend Raum vorhanden zur Aufnahme einer Reihe anderer Instrumente, welche zur Seeforschung erforderlich sind. Das Gewicht des Apparats beträgt mit Leine und Lot 5 kg[1]).

2. Die Ausführung der Lotung. a) In fließenden Gewässern: Da es sich in der Hauptsache darum handeln wird, durch eine Reihe von Messungen ein Querprofil des Flusses zu erhalten, so führt man die Lotung

---

[1]) Die Herstellung des Apparates übernimmt der Mechaniker Wesselhöft, Halle a. S., Jägerplatz 10.

auf einer die beiden Ufer rechtwinklig verbindenden Linie aus und wählt den Zwischenraum zwischen den einzelnen Lotungspunkten je nach der zu erwartenden Form und dem geforderten Maße von Genauigkeit. Man kann dieses Ziel natürlich am leichtesten erreichen, wenn man die Lotung in einer Zeit ausführt, in der der Fluß mit einer tragenden, nicht zu starken Eisdecke versehen ist, da man dann durch direkte Messungen die Lage jedes einzelnen Punktes feststellen kann. Wenn Zeit und Gelegenheit dies nicht gestatten, so verfährt man in der Weise, daß man von einem Ufer zum anderen eine durch eingeknüpfte Lappen eingeteilte Leine zieht und vom Boote aus an jedem der Teilpunkte die Lotung mit der Peilstange ausführt. Die für breite Ströme erforderlichen Maßnahmen (das Auflegen der Leine auf in regelmäßigen Zwischenräumen verankerte Boote oder das Einvisieren der Lotungspunkte vom Ufer aus) übergebe ich hier, weil diese Arbeiten dem Geologen kaum vorkommen werden. Die Lotung soll den Abstand der Wasseroberfläche von dem lotrecht unter ihr befindlichen Punkte des Grundes angeben. Es ist deshalb erforderlich, daß die Peilstange senkrecht steht und nicht durch die Strömung abgetrieben wird. Bei sehr reißenden Gewässern tut man deshalb gut, die Spitze der Stange schräg in der Richtung gegen die Strömung vorzustoßen, so daß, wenn die Spitze den Grund erreicht, sie durch die Strömung senkrecht unter dem Punkt sich befindet, auf dem die Stange eingetaucht ist. Ist die Wassertiefe größer als die Peilstange lang ist, so muß man sich des Lotes bedienen. Um auch in diesem Falle die Tiefe richtig zu erhalten, wirft man es nach Maßgabe der größeren oder geringeren Tiefe so weit vor dem Boote voraus, daß es gerade den Grund berührt, wenn man sich über der betreffenden Stelle befindet. Die Erfahrung lehrt bald, bis in welche Entfernung man dabei das Lot auszuwerfen hat, um gute Resultate zu erzielen.

b) In stehenden Gewässern: Auch hier gilt das unter a) bezüglich der Eisdecke Gesagte in vollem Umfange. Muß aber vom Boote aus gelotet werden, so sind eine ganze Anzahl von Vorsichtsmaßregeln zu beobachten. Am genauesten läßt sich die Lotung ausführen, wenn vollständige Windstille herrscht und das Boot genau auf derselben Stelle verharrt, an welcher das Lot ausgeworfen ist. Selbst verhältnismäßig unbedeutende Winde sind im stande, die Resultate der Lotung durch Abtreiben des Nachens ungünstig zu beeinflussen, vor allem deshalb, weil es unmöglich wird, mit Sicherheit die gerade Linie einzuhalten. Bei der Auslotung von Seen legt man sich zunächst eine Reihe von Linien fest, welche solche Punkte verbinden, die der eine vom anderen aus sichtbar sind. Um nun die Lotungen in gleichen Zwischenräumen ausführen zu können, bedarf man eines gewandten Ruderers, den man unter der Fischerbevölkerung wohl immer finden wird. Die kartographische Feststellung der einzelnen Lotungspunkte

erzielt man dadurch, daß man von einem Ufer aus das Boot in der Richtung nach dem Fixpunkte des anderen Ufers eine bestimmte Anzahl Ruderschläge weit fortrudern und dann plötzlich anhalten läßt und das Lot auswirft. Mit der Zahl der so erhaltenen Lotungen dividiert man die Länge des Profils und erhält so den Abstand der einzelnen Lotungen voneinander. Man muß aber die einmal gewählte Zahl von Ruderschlägen dann auch für das ganze Profil beibehalten, da selbstverständlich die mit 24 Ruderschlägen zurückgelegte Strecke mehr als doppelt so groß ist, als die nach 12 Ruderschlägen. Um Irrtümer zu vermeiden, tut man gut, durch den rudernden Mann die Zahl der von ihm getanen Schläge laut zählen zu lassen. Ich habe mich dieser Methode bei meinen Auslotungen pommerscher Seen stets bedient, während Ule vorschlägt, anstatt einer bestimmten Zahl von Ruderschlägen eine bestimmte, mit der Sekundenuhr in der Hand zu kontrollierende Ruderzeit einzusetzen. Hat man einen geübten Ruderer, so wird das Ergebnis wohl in beiden Fällen das gleiche sein. Um sich zu überzeugen, ob man sich noch in der verbindenden Linie zwischen den beiden, dem Profil zu Grunde liegenden Fixpunkten bewegt, bedient man sich eines doppelten Winkelsextanten, mit dessen Hilfe es auch möglich sein wird, etwaige kleine Fehler zu korrigieren. Ist man durch Zeitmangel gezwungen, bei etwas windigem Wetter zu loten, so muß man von vornherein auf große Genauigkeit verzichten und deshalb die einzelnen Lotungspunkte nicht zu nah aneinander legen, und es ist außerdem erforderlich, zwei Ruderer im Boote zu haben, damit es ihren vereinten Bemühungen leichter wird, den Kahn so zu steuern, daß die Lotleine senkrecht steht.

Ich verfuhr bei meinen Lotungen in der Weise, daß ich zunächst auf der Karte eine Reihe von Verbindungslinien zwischen in der Natur leicht erkennbaren Punkten am Ufer eintrug und fortlaufend numerierte und sodann während der einzelnen Lotungsfahrten selbst unter den betreffenden Profilnummern in Form einer fortlaufenden Zahlenreihe die Ergebnisse der einzelnen Lotungen notierte.

Genauer und zugleich bequemer als durch Ruderschläge vermag man auf größeren Seen die Entfernungen durch Anwendung eines „Woltmannschen Flügels“ zu messen. Dieser wird, in das Wasser tauchend, fest mit dem Boote verbunden und läßt dann unmittelbar die durchfahrene Länge ablesen. Dies Verfahren ist von Sven Hedin in den unbekannten Gebieten Zentralasiens mit Vorteil angewandt worden. Bei der etwaigen Benutzung dieser Methode ist ein verhältnismäßig minder empfindlicher Flügel zu wählen und eine Bootsgeschwindigkeit von höchstens 1,5 Sekundenmeter einzuhalten.

Wie weit die einzelnen Lotlinien und auf diesen die Lotungspunkte voneinander entfernt sein müssen, hängt völlig von der Größe des Sees,

von seiner Tiefe, der einfacheren oder komplizierteren Gestaltung seines Untergrundes, der mit der Auslotung verbundenen Absicht und der zur Verfügung stehenden Zeit ab; es lassen sich daher allgemeine Gesichtspunkte dafür nicht aufstellen.

Mit Hilfe der Lotungen ist man im stande, eine mehr oder weniger genaue Karte vom Untergrunde des ausgeloteten Gewässers herzustellen, indem man durch in bestimmten Abständen aufeinander folgende Tiefen-

Fig. 197.

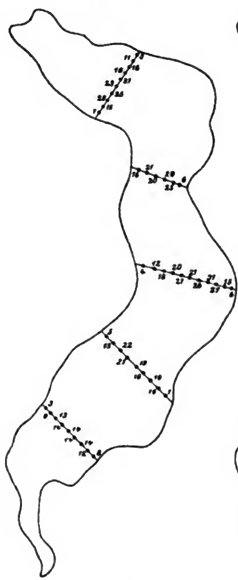
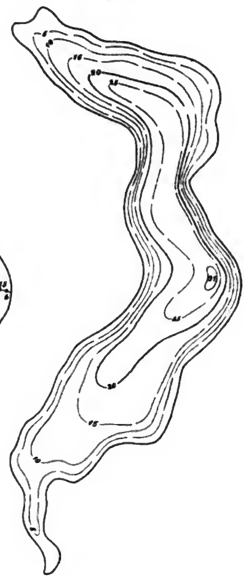


Fig. 198.



linien Flächen gleicher Mindesttiefe in derselben Weise umschließt, wie dies bei Darstellungen der Landoberfläche mit Hilfe der Höhenlinien geschieht. In den obenstehenden beiden Abbildungen sind in Figur 197 die Lotungslinien und die auf ihnen ermittelten einzelnen Tiefen in Metern angegeben, während in Figur 198 diese Werte zu einer Isobathenkarte des betreffenden Sees mit Tiefenlinien von 5 zu 5 m verarbeitet sind. Bei der Darstellung des Untergrundes von Flüssen verfährt man in ganz derselben Weise.

Kapitel 45.

Die Ermittelung der Strömungsgeschwindigkeit.

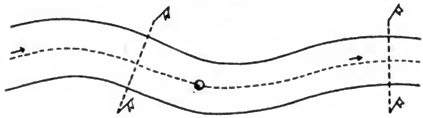
Für die Messungen von Geschwindigkeiten fließender Gewässer gibt es eine große Reihe von Methoden, von denen ich die komplizierteren, die wohl nur der Wasserbauingenieur anzuwenden in die Lage kommt, hier übergehe. Die einfacheren Instrumente, die ich besprechen will, zerfallen in zwei Gruppen, von denen die der freischwimmenden Körper die Geschwindigkeit des Wassers unmittelbar angiebt, während die andere sie an dem Widerstande mißt, den ein feststehender Körper der Strömung entgegensetzt.

a) Messung der Oberflächengeschwindigkeit mittels Schwimmkörpers: Jeder im Strome frei schwimmende Gegenstand nimmt mehr oder weniger genau die Geschwindigkeit des Wassers an, in welchem er treibt. Doch ist dabei zu bedenken, daß große Körper erstens an sich schon eine größere Geschwindigkeit annehmen, als das sie tragende Wasser besitzt, und daß sie zweitens infolge ihrer Größe durch den Wind je nach der Richtung desselben eine Beschleunigung oder Verlangsamung erfahren können. Es ist deshalb beispielsweise unzulässig, aus der Geschwindigkeit stromabtreibender Schiffe die Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Man nimmt zur Messung der Wassergeschwindigkeit am besten solche Körper, die möglichst tief in das Wasser ein- und nur wenig daraus hervortauchen, und wählt am zweckmäßigsten die Kugelform, weil diese bei jeder Lage dem Wasser die gleiche Angriffsfläche bietet. Man läßt sich einen derartigen Schwimmer aus hohlem Eisenblech anfertigen und versieht ihn an einer Stelle mit einer verschließbaren Öffnung, durch welche die Kugel so weit mit Schrot gefüllt wird, daß sie nur etwa mit dem zehnten Teile ihres Durchmessers aus dem Wasser herausragt. Damit dieser herausragende Teil immer deutlich sichtbar sei, tut man gut, die Kugel, deren Durchmesser 2—3 dcm betragen mag, mit Mennigerot anzustreichen. Um mit Hilfe dieser Schwimmkugel die Strömungsgeschwindigkeit zu messen, steckt man auf einer geraden Stromstrecke in dem Abstand von 50—100 m zwei Querschnitte über den Fluß ab, wirft einige Meter oberhalb des ersten Querschnitts die Kugel in die Strömung und beobachtet an der Sekundenuhr den Moment, in welchem sie das erste Profil schneidet. Man eilt nun an das zweite Profil und paßt hier wiederum genau den Moment ab, in welchem die Kugel durch die Verbindungslinie geht (Fig. 199). Noch sicherer ist es natürlich, wenn diese Beobachtungen von zwei Personen mit genau übereinstimmender Sekundenuhr ausgeführt werden.

In jedem fließenden Gewässer gibt es eine Linie, in welcher das Wasser mit der größten Geschwindigkeit sich vorwärts bewegt; diese Linie nennt

man den Stromstrich. Alle in das Wasser gelangten schwimmenden Gegenstände treiben nach dieser Linie hin und schwimmen dann in ihr weiter. Kommt es also darauf an, was bei der Berechnung von Wassermengen in fließenden Gewässern nötig ist, die Geschwindigkeiten in den einzelnen Teilen eines Querschnittes zu messen, so muß man bei der Anwendung von Schwimmkörpern die Strecke so kurz wählen, daß der Schwimm-

Fig. 199.



körper, während er sie zurücklegt, nicht sehr bemerklich dem Stromstriche sich nähern kann.

b) Messungen der Untergrundsgeschwindigkeiten: 1. mit der Schwimmkugel: Man kann die oben beschriebene Schwimmkugel auch dazu benutzen, die Geschwindigkeit der Strömung in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche zu messen. Zu diesem Zwecke beschwert man die erste Kugel so stark, daß sie nicht nur vollständig in das Wasser eintaucht, sondern auch eine zweite wesentlich kleinere Kugel, mit der sie durch einen Faden verbunden ist (Fig. 200), ebenfalls fast ganz in das Wasser mit hinabzieht.

Fig. 200.

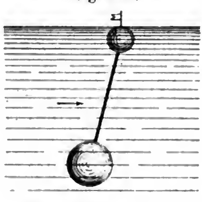
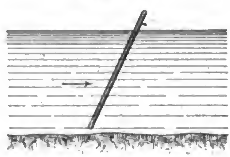


Fig. 201.



Den Faden wählt man so lang, daß die untere Kugel gerade in derjenigen Tiefe schwimmt, deren Strömungsgeschwindigkeit man ermitteln will. Dabei dient die obere Kugel in der angegebenen Weise zur Beobachtung des zurückgelegten Weges. Der Fehler, der durch die Beeinflussung der Bewegung der unteren Kugel durch die der oberen entsteht, ist nicht so bedeutend, daß diese Methode nicht ganz gute Annäherungswerte ergäbe.

2. Messung mittels des Schwimmstabes: Er dient dazu, die mittlere Geschwindigkeit einer Tiefenschicht von bestimmtem Durchmesser direkt anzugeben. Dieser in Figur 201 dargestellte Schwimmstab besteht aus einem in Dezimeter eingeteilten und mit einem gut schließenden Deckel versehenen hohlen Blechstabe. Man belastet ihn durch eingelegte Bleistücke so stark, daß er bis nahe an das Strombett herabreicht, ohne es während der Messung an einer Stelle zu berühren, während er über der Oberfläche um einen kleinen Betrag, der dem Winde keine merkbare Angriffsfläche bietet, hervorragt. Man benutzt infolgedessen für verschiedene Tiefen Stäbe von verschiedener Länge. Dieser Stab schwimmt im stehenden Wasser lotrecht, wird aber im Strome von dem schneller fließenden Wasser der Oberfläche stärker in Bewegung gebracht, als von dem langsamer fließenden auf dem Grunde. Infolgedessen tritt eine Ausgleichung der verschiedenen Geschwindigkeiten in der ganzen Länge des Stabes in der Weise ein, daß er, sofern er einen durchaus gleichen Querschnitt in allen Teilen besitzt, sich mit der mittleren Geschwindigkeit der betreffenden Wasserlinie vorwärts bewegt. Man erhält auf diese Weise ein Resultat, welches man andernfalls nur aus zahlreichen Einzelbeobachtungen rechnerisch erlangen könnte. Die eigentliche Ermittlung dieser mittleren Geschwindigkeit erfolgt in derselben Weise, wie die der Oberflächengeschwindigkeit vermittels der Schwimmkugel.

3. Die Geschwindigkeitsmessung mit der Darcyschen Röhre: 1732 legte Pitot der Pariser Akademie einen Apparat zur Geschwindigkeitsmessung des fließenden Wassers vor, der in seiner einfachsten Gestalt ein rechtwinklig gebogenes, an beiden Schenkeln offenes Rohr darstellt (Fig. 202). Taucht man dieses auf eine beliebige Tiefe ins Wasser, so daß der horizontale Röhrenschenkel gegen die Strömung gerichtet ist, so steigt das Wasser in dem anderen Schenkel so hoch, bis die Wasserhöhe h dem Stoß des Wassers das Gleichgewicht hält. Aus der gemessenen Höhe h läßt sich die Wassergeschwindigkeit berechnen nach der Formel $v_x = \mu \sqrt{h}$, wobei der Koeffizient μ für jeden Apparat durch vergleichende Messung derselben Geschwindigkeit mit den Angaben eines Normalinstrumentes bestimmt werden muß. Diese einfachste Einrichtung wurde durch Darcy so verbessert, daß der von ihm hergestellte Apparat (Fig. 203) vortreffliche Dienste leistet, namentlich bei Geschwindigkeitsmessungen hart am Ufer und auf dem Wasserspiegel. Die beiden Röhren C und D sind am oberen Ende mit einer metallenen Fassung versehen, in welcher ein Hahn E angebracht ist, der im geschlossenen Zustande beide Röhren gegen die atmosphärische Luft abschließt. Wenn der Apparat eingetaucht ist, so kann man durch Saugen am oberen Hahne das Wasser in den Röhren bis in eine zur Beobachtung bequeme Höhe aufsaugen, hierauf den Hahn schließen und wie gewöhnlich ablesen.

Die beiden Glasrohre C und D sind in einer Eichenholztafel $A\,B$ eingelassen und ihre unteren Enden in ein kupfernes Verbindungsstück eingekittet. Durch das letztere geht ein Hahn F hindurch, mittels dessen von oben aus (mit Hilfe von Leinen) die Öffnungen beider Rohre reguliert werden können. Unter dem Verbindungsstücke sind die Rohre C und D als Kupferrohre fortgesetzt. Sie sind rechtwinklig umgebogen und so weit

Fig. 202.

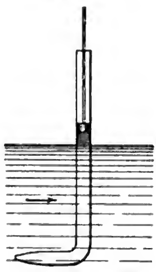


Fig. 203.

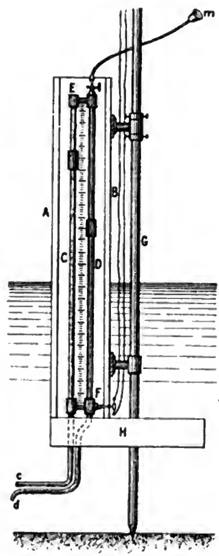
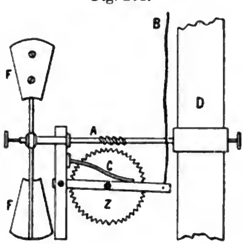


Fig. 204.



zur Seite der Holztafel gelegt, daß der vom Apparat erzeugte Stau keinen Einfluß auf die Mündungen ausüben kann. Die Mündung c des Rohres C liegt normal zum Stromstrich, die Mündung d des Rohres D dagegen parallel dazu. Infolgedessen steht in C der Wasserspiegel höher als in D.

Soll eine Geschwindigkeitsmessung vorgenommen werden, so befestigt man den Apparat an einen Eisenstab G und läßt ihn so weit in das Wasser hinab, bis die Mündungen c und d in jener Tiefe liegen, in welcher man die Geschwindigkeit messen will. Die Tafel $A\,B$ ist um den Eisenstab G drehbar und wird durch die Fahne H stets so gestellt, daß c und d in der

Richtung der Strömung liegen. Öffnet man nun mittels der einen Leine den Hahn *F*, so nimmt das Wasser in den Röhren die der Geschwindigkeit entsprechenden Höhen an. Sind diese konstant geworden, so saugt man sie bei *m* zur passenden Höhe empor, schließt den Hahn *E* und sobald die Wassersäulen beharren, mittels der zweiten Leine auch den Hahn *F*, worauf man die Höhen h_1 und h_2 der beiden Wassersäulen abliest. Die gesuchte Geschwindigkeit ist alsdann $v_x = \mu \sqrt{h_1 - h_2}$. Zum Ablesen dient am besten eine verschiebbare Skala (in Millimeter eingeteilt), deren Nullpunkt man am höheren Wasserspiegel anlegt.

4. Der Woltmannsche Flügel (Fig. 204) besteht aus mehreren an einer horizontalen Welle befestigten schiefen Flügeln *F*, die durch den Stoß des Wassers in Bewegung gesetzt werden. Sie drehen eine Achse, deren Umdrehungen durch eine Schraube ohne Ende auf ein Zahnrad übertragen werden, so daß man mittels eines Zählwerkes *Z* die Anzahl der Umdrehungen in einer bestimmten Zeit ablesen kann. Die Leine *B* und die Feder *C* dienen dazu, den Zählapparat einzuschalten und auszulösen. Der Apparat wird an einem Stabe *D* mit rechtwinkligem Querschnitt befestigt und so in die Tiefe getaucht, in der die Geschwindigkeit gemessen werden soll, daß er sich in der Richtung der Strömung befindet. Sodann wird in einem bestimmten, von einer genau gehenden Sekundenuhr abgelesenen Zeitpunkt das Zählwerk durch Anziehen der Leine angerückt. Nach einiger Zeit, beispielsweise einer Minute, deren Dauer wieder genau beobachtet werden muß, löst man das Zählwerk aus und liest die Zahl der Flügelumdrehungen ab. Aus den für jedes Instrument zu bestimmenden Beziehungen der Umdrehungszahl zur Wassergeschwindigkeit bestimmt man die letztere. Es ist hier nicht der Platz, auf die zahlreichen Abänderungen und Verbesserungen einzugehen, die im Laufe eines Jahrhunderts an dem Woltmannschen hydrometrischen Flügel vorgenommen sind, man vergleiche darüber Franzius und Sonne: Der Wasserbau, Bd. 3, S. 283 bis 287, wo man auch näheres über die Bestimmung der Konstanten findet, die für jeden Apparat zu ermitteln sind.

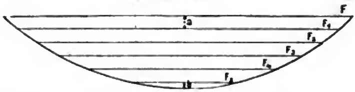
Kapitel 46.

Die Ermittelung der Wassermenge.

a) In stehenden Gewässern: Für eine genaue Bestimmung der Wassermenge eines stehenden Gewässers sind so viele sorgsam ausgeführte Lotungen erforderlich, daß man daraus ein genaues Bild vom Untergrunde des betreffenden Beckens gewinnt. Zur Erlangung eines in den meisten Fällen genügenden Näherungswertes braucht man dagegen nur eine geringere Anzahl von Profilen in der Weise abzuloten, daß die Ergebnisse

zur Anfertigung einer Isobathenkarte nach Art der in Figur 198 dargestellten genügen. Man denkt sich nun die Wassermenge des Sees durch eine Anzahl von horizontalen Schnitten in ebensoviele Scheiben zerlegt, deren Höhe so groß sei, wie der Abstand der einzelnen Tiefenlinien der Karte, in unserem Falle also 5 m. Zur Vereinfachung der Aufgabe nimmt man an, daß die seitliche Begrenzung dieser Wasserscheiben nicht gekrümmt, sondern gerade ist. Dann stellt jede solcher Scheiben einen Kegelstumpf dar von 5 m Höhe, und der unterste Teil des Sees wird gebildet von einem Kegel, dessen Höhe durch die Differenz der größten Seetiefe

Fig. 205.

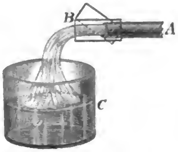


mit der nächsthöheren 5 m-Kurve gegeben ist. Nenne ich nun die Gesamtoberfläche des Sees F, die von der 5 m-Tiefenlinie umschlossene Fläche F_1, die von der 10 m-Linie umschlossene F_2 u. s. w. bis F_n, nenne ich die Höhe der einzelnen Scheiben a und den durch a nicht mehr teilbaren Rest der Seetiefe b (Fig. 205), so ist der Inhalt der obersten Scheibe $\frac{F+F_1}{2} . a$, der $n$ten $\frac{F_{(n-1)}+F_n}{2} . a$ und der Inhalt des untersten Teiles $\frac{F_n}{2} . b$. Daraus ergibt sich die gesamte Wassermasse zu

$$\frac{a}{2}\left(F+2\,F_1+2\,F_2\ldots.+2\,F_{(n-1)}+F_n\right)+\frac{b}{2}\,.\,F_n$$

b) In fließendem Wasser: Der Geologe wird am häufigsten in die Lage kommen, die Methoden der Wassermessung bei Quellen anzuwenden. Man verfährt dabei, wo es irgend möglich ist, so, daß man die Wassermenge des Quellenabflusses (Fig. 206) durch ein Gerinne A in ein seinem Inhalte nach bekanntes Gefäß C einführt und die Zeit an einer Sekundenuhr beobachtet, in welcher dieses gefüllt wird. Das Resultat dieser einfachen Methode kann natürlich nur dann zuverlässig sein, wenn der Wasserausfluß gleichförmig ist, d. h. wenn dem Meßgefäße ebensoviel Wasser zufließt, als die Quelle produziert. Man muß also zu diesem Zwecke den Quellabfluß durch einen kleinen Einbau aufstauen und mit dem Messen des Abflusses so lange warten, bis man an der Unveränderlichkeit des Wasserspiegels hinter dem Stau die Gleichheit von Zu- und Abfluß er-

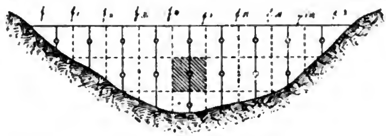
Fig. 206.



kennt. — Die übrigen direkten Messungsmethoden mittels hydrometrischen Bechers, des Wasserzolls, des Ausflusses aus Öffnungen in eingebauten Wänden oder durch künstlich errichtete Überfälle, werden in den meisten Fällen dem Wasserbauingenieur überlassen bleiben müssen und können deshalb hier nicht näher erwähnt werden.

Auf indirektem Wege kann man die Wassermenge eines Baches oder Flusses ermitteln, indem man die oben beschriebenen Profile und Geschwindigkeitsmessungen benutzt. In der Regel wird für diesen Zweck das Profil

Fig. 207.



(Fig. 207) in einzelne gleichartige Vertikalstreifen f^{I} f^{II} f^{III} ... zerlegt, und die mittlere Geschwindigkeit V^{I} V^{II} V^{III} ... gemessen. Bei größerer Wassertiefe kann man das Profil auch noch, wie in der Figur angegeben, in mehrere horizontale Streifen zerlegen, deren Geschwindigkeit man einzeln ermittelt. Man berechnet danach den Flächeninhalt jedes Vertikalstreifens, multipliziert ihn mit seiner mittleren Geschwindigkeit und ermittelt die Summe dieser Produkte. Wenn man die Summe, die der Wassermenge entspricht, die in einer Sekunde das angenommene Profil passiert, durch deren Gesamtflächeninhalt dividiert, so erhält man die mittlere Geschwindigkeit des Flusses.

Kapitel 47.

Entnahme von Grundproben. — Temperaturbestimmung.

Die Entnahme von Grundproben. Die primitivste Entnahme von Grundproben besteht darin, daß man den zum Loten benutzten Metallkörper in seinem unteren Teile halbkugelig aushöhlt und diese Höhlung mit Talg ausstreicht. Sobald das Lot den Grund erreicht, drückt sich von dem Sande oder Schlamme ein Teil in den Talg hinein und kommt mit diesem wieder an die Oberfläche. Ist der Untergrund steinig, so bewirken die einzelnen Gerölle Eindrücke, aus deren Form und Größe sich Schlüsse auf die Beschaffenheit ziehen lassen. Viel zuverlässiger, weil größere Bodenprobenmengen liefernd, ist eine Vorrichtung, bei welcher der Lotkörper hohl und hinten mit einem Ventil verschlossen ist. So besteht z. B. das von Ule benutzte, in Figur 196 dargestellte Lot L aus einem mit einem

Bleimantel umgebenen Eisenrohr, das unten mit einem Klappventil *V* verschlossen ist. Dadurch wird einmal ein möglichst schnelles Gleiten des Lotes und sodann das Aufholen von Bodenabsatz ermöglicht. Beim Hinablassen öffnet sich das Ventil, und das Lot fällt schnell zum Grunde des Wassers hinab und sinkt infolgedessen in den meist lockeren Seeboden

Fig. 208.

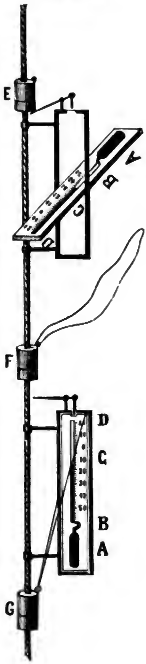


Fig. 209.

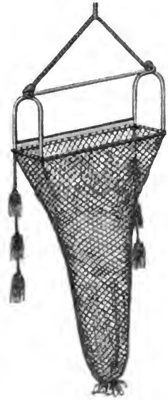
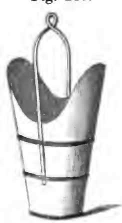


Fig. 210.



etwas ein. Beim Hochziehen schließt sich das Ventil wieder und das Lot gelangt, mit der Bodenprobe gefüllt, wieder an die Oberfläche.

Die angegebenen zwei Methoden gestatten natürlich nur eine Erkenntnis des Untergrundes an der einzelnen Stelle, die das Lot berührt. Handelt es sich darum, das tierische und pflanzliche Leben auf dem Grunde eines Sees oder in flachen Meeren zu erkennen, so muß man sich eines Dredge-

apparates bedienen. Man kann dazu entweder die sogenannte Eimerdredge, einen Zinkeimer mit scharfen Rändern (Fig. 210) oder ein Schleppnetz (Fig. 209) benutzen. Beide Apparate sind so einfach, daß sie sich aus den Abbildungen von selbst erklären. Das Dredgenetz wird durch einen hineingelegten großen Stein beschwert und an einem Seil, welches mindestens die doppelte Länge der Wassertiefe besitzen muß, vom Boote aus in die Tiefe hinabgesenkt und hierauf hinter dem langsam geruderten Boote einige Zeit auf dem Grunde geschleppt, wobei man sorgsam darauf zu achten hat, ob das Seil durch Straffwerden ein Festhalten des Dredgerahmens unter einem festen Gegenstande anzeigt. Nach einiger Zeit wird es in die Höhe gezogen und sein Inhalt in passende Gefäße entleert.

Die Lotungen und Dredgezüge in der Tiefsee verlangen maschinelle Anlagen und können hier nicht näher besprochen werden.

Die Messung von Wassertemperaturen. Zur Messung der Oberflächentemperatur einer Wassermasse kann man sich eines empfindlichen Thermometers bedienen, da die Ablesung unmittelbar nach dem Herausnehmen des Instrumentes aus dem Wasser erfolgen kann. Anders wird die Sache, wenn man die Temperaturen der verschiedenen Schichten des Wassers bis zum Grunde bestimmen will. Man kann dann zwei verschiedene Wege einschlagen: ist die Tiefe nicht so groß, daß man mehr als eine Minute gebraucht, um das Thermometer an die Oberfläche zu bringen, so kann man sich eines träg gemachten Instrumentes bedienen. Zu diesem Behufe hüllt man die Quecksilberkugel einen Zentimeter stark in weißes Wachs ein, was man mit der Montierung des Thermometers in Messingröhren verbinden kann. Ein solches Instrument braucht 20 bis 25 Minuten Zeit, bis es sich richtig eingestellt hat, beharrt aber nach der Entfernung aus einem gleich temperierten Medium 2 Minuten unveränderlich auf seinem Stande. Für Messungen in größeren Tiefen bedient man sich allgemein der von Negretti & Zambra konstruierten Umkehrthermometer. Diese von Murray verbesserten Apparate sind folgendermaßen konstruiert[1]) (Fig. 208).

Die Thermometerröhre hat bei *B* oberhalb des Quecksilbergefäßes *A* eine Knickung. Wird das Thermometer rasch umgedreht, so daß das Quecksilbergefäß *A* nach oben kommt, so reißt der Quecksilberfaden bei *B* ab und fällt nach dem anderen Ende, nach *C D*. Solange der Quecksilberfaden im Zusammenhang mit dem Quecksilbergefäß war, konnte er bei Abkühlung wieder in das letztere aufgenommen werden, ist er aber abgerissen und isoliert, so kann er seine Größe nicht mehr wesentlich verändern.

Das Prinzip der Wärmemessung in großen Tiefen beruht nun darauf, daß man in Abständen von je 50 oder 100 m solche Thermometer an einem

1) Walther, J., Allgemeine Meereskunde, S. 81.

Lotungstau befestigt. Nachdem sie eine Zeitlang in der Tiefe verweilt haben, läßt man ein ringförmiges Gewicht *E* vom Bord des Schiffes aus am Tau hinabgleiten. Das auf den obersten Hebel auffallende Gewicht bringt das erste Thermometer zum Umklappen. Der Quecksilberfaden reißt an der Biegungsstelle und seine Länge fixiert die Höhe der in der betreffenden Wasserschicht herrschenden Temperatur. Ein zweites Gewicht *F* ist an diesem Thermometer so befestigt, daß es durch dessen Umklappen frei wird und am Seil entlang bis zu dem folgenden zweiten Thermometer gleitet, um dieses zum Umklappen zu bringen u. s. f.

In fließenden Gewässern von geringer Tiefe wird man, sowohl zur Sicherung des Instrumentes, als auch zur Vermeidung von Fehlern durch das Treiben im Strome, träge Thermometer an der Peilstange befestigen, eine Methode, die man auch bei stehendem Wasser und geringeren Tiefen mit Vorteil benutzen kann. Bei größeren Tiefen muß man aber das Thermometer an der Lotleine in die Tiefe senken. Will man die mit dem Gebrauch von Leinen verbundenen Fehlerquellen vermeiden, so bedient man sich, wie bei Tiefenmessungen, einer Klaviersaite, die mit einem Zählapparat verbunden ist, oder wenn dieser nicht zur Verfügung steht, nach dem Vorschlage von Professor Richter[1]) einer aus drei ganz feinen verzinnten Stahldrähten geflochtenen Drahtlitze, welche eine Tragkraft von 40 kg und auf je 100 m Länge nur ein Gewicht von 0,4 kg besitzt.

In den meisten Landseen befindet sich in bestimmter, aber wechselnder Tiefe eine Schicht, in welcher ein beschleunigtes Sinken der Temperatur zu beobachten ist, die sogenannte „Sprungschichte" Richters[2]). Will man nach Feststellung derselben den Temperaturgang in ihr genau feststellen, so befestigt man eine Anzahl träg gemachter Thermometer an einer Latte so übereinander, daß der Abstand von einer Kugel zur anderen jedesmal 20 cm oder unter Umständen noch weniger beträgt, beschwert die Latte am einen Ende so weit, daß sie aufrecht in die Tiefe sinkt, und läßt sie an der Lotleine hinab.

Kapitel 48.

Bestimmung der Durchsichtigkeit und Farbe des Wassers.

Nach A. Jentzsch in: Entwurf einer Anleitung zur Seenuntersuchung. Abh. Geol. Landesanstalt, Neue Folge, Heft 48, S. 30—33.

Beide können schnell und leicht bestimmt werden, wodurch man Zahlenwerte gewinnt, die zum Vergleiche verschiedener Seen mitbenutzt werden können. Beide werden durch Jahreszeit und Wetter beeinflußt, weshalb bei Angaben darüber, insbesondere über die Durchsichtigkeit, Tag und Stunde der Beobachtung, sowie womöglich noch kurze Nachrichten über

das herrschende und zunächst vorangegangene Wetter (Sonnenschein, starker Regen, Sturm) hinzugefügt werden mögen. Beide hängen ab

a) von der Durchsichtigkeit und Farbe des Seewassers selbst, welche innerhalb jedes Sees ziemlich unverändert bleiben;

b) von der Menge und Art der freischwebenden feinsten Teilchen, welche teils eingeschwemmt, teils lebendes oder totes tierisches und pflanzliches Plankton sind. Da letzteres die mittelbare oder unmittelbare Nahrung aller tierischen Bewohner des offenen Sees, auch der nutzbaren Fische ist und aus ihm das die größeren Tiefen des Sees erfüllende Sapropel hervorgeht, so hat seine Art und Menge eine hohe wirtschaftliche, biologische und geologische Bedeutung. Seine Art oder vielmehr Arten zu bestimmen und nach der Hensenschen Zählmethode für die untersuchten Seen auszuwerten, würde über die Aufgaben einer allgemeinen Landesuntersuchung weit hinausgehen, zumal es nach Jahreszeiten wechselt. Wo seitens der Zoologen und Botaniker bereits Planktonforschungen vorliegen, werden deren Hauptergebnisse zu berücksichtigen sein.

Immerhin gibt die überall schnell bestimmbare Durchsichtigkeit einen ungefähren Anhalt für die Beurteilung der Planktonmengen, wenngleich diese Schätzung getrübt wird durch die Beimengung angeschwemmter Sedimente und feiner Humusflocken sowie kolloidal gelöster Humusstoffe. Die Durchsichtigkeit ist im Winter viel größer als im Sommer, wechselt nach den Jahreszeiten und wird deshalb, falls der Geologe etwa ohnehin wiederholt den See befährt, möglichst bei jeder Fahrt ein- oder zweimal gemessen, was nur wenige Minuten beansprucht.

Zur Bestimmung dient das „Scheibensystem", wie solches durch Xavier de Maister 1832 angegeben und durch Lorenz Ritter v. Liburnau, Pater Secchi, Krümmel, Forel, Ule u.a. weiter entwickelt worden ist. Eine weißlackierte, von einigen Löchern durchbrochene, kreisrunde Blechscheibe wird in möglichst wagrechter Lage an einer dünnen Leine möglichst senkrecht in den See gelassen. Die Löcher haben den Zweck, den Widerstand des Wassers beim Aufholen zu verringern; zugleich erleichtern sie die Erkennung der Scheiben in den letzten Augenblicken ihres Verschwindens. Die Sichtbarkeitsgrenze wird durch mehrmaliges geringes Auf- und Abbewegen der Scheibe möglichst scharf ermittelt und sodann an der Leine gemessen. Für das Meer sind Scheiben bis zu 2,37 m Durchmesser angewandt worden. Für Binnenseen werden Scheiben von 40—100 cm Durchmesser von manchen Seeforschern empfohlen. Selbstredend ergeben große Scheiben etwas weitere Sichtbarkeitsgrenzen als kleine. So fand Secchi im Mittelmeer mit seiner Scheibe

von 2,37 m Durchmesser eine Sichttiefe von 35,5 m, während eine kleinere Scheibe von 0,43 m Durchmesser daselbst nur 29,5 m ergab. Bei den geringen, im Sommer meist 1—3 m betragenden Sichttiefen norddeutscher Seen bewirkt indes rechnungs- wie erfahrungsgemäß die Größe der Scheibe nur kaum merkliche Unterschiede der Sichttiefe. Deshalb werden für die norddeutschen Seenmessungen kleine Scheiben von etwa 0,25 m Durchmesser empfohlen.

Um die störenden Lichtreflexe der Seeoberfläche abzublenden, kann man die sinkende Scheibe durch ein in das Wasser getauchtes, innen geschwärztes, nach Art eines Sprachrohres sich vorn erweiterndes Beobachtungsrohr aus Blech mit dem Auge verfolgen.

Die Farbe des Sees wird durch einfachen Vergleich des Wassers mit den numerierten Mischlösungen der Forel-Uleschen Farbenskala bestimmt. Die Bestimmung der Farbe muß an Stellen großer Wassertiefe erfolgen, weil sonst der Untergrund durchleuchtet. Auch ist es vorteilhaft, während der Vergleichung das Auge durch einen Schirm oder durch das oben erwähnte Blechrohr vor blendenden Reflexen zu schützen. Die von Physikern empfohlene genauere Bestimmung der Farbe durch Spektroskop ist für unsere Zwecke entbehrlich.

Kapitel 49.

Messen und Kartieren der Niederschläge.

Von A. Sieberg, Straßburg i. E.

Alle Untersuchungen über den Wasserhaushalt in der Natur gehen aus von der Kenntnis der Niederschlagsverhältnisse, so wie sie folgeweise aus Regenmessungen und Regenkarten hergeleitet wird. Bevor also der Geologe an seine eigentliche Arbeit herantreten kann, muß er sich unbedingt ein genaues Urteil zu bilden suchen über die Güte des Ausgangsmaterials, wenn er nicht gar gezwungen ist, die Niederschlagsfrage selbst von Grund auf zu klären. Bisher hat man dieser Anforderung häufig genug nicht hinreichend Rechnung getragen, wohl teils aus Unkenntnis der einschlägigen Methoden, teils auch weil man glaubte, die erzielte größere Genauigkeit wiege die recht erhebliche Mehrarbeit nicht auf. Der letzteren Ansicht wird heute kaum jemand mehr huldigen; denn, ganz abgesehen vom theoretischen Interesse, können bei hydrotechnischen Anlagen, etwa Schaffung von Staubecken, Kraftwerken, Wasserversorgungen und Kanalisationen etc., kleine Unterlassungssünden sich mitunter durch ganz bedeutende materielle Schädigungen bitter rächen.

Das vorliegende Kapitel will den Geologen, der ja naturgemäß der Meteorologie und Klimatologie ferner steht, auf die für den vorliegenden

Fall wichtigen Punkte aufmerksam machen unter Angabe der Gründe und der zu befolgenden Methoden. Zu Literaturnachweisen wurden mit Absicht nur möglichst wenige, aber erprobte und zudem leicht zugängliche Veröffentlichungen herangezogen; die dadurch bedingte Einseitigkeit ist jedoch nur eine scheinbare, weil die in jenen enthaltenen zahlreichen Zitate für die Vertiefung in Einzelfragen den Weg weisen.

Regenmesser.

Die Niederschlagshöhe soll angeben, bis zu welcher Höhe (in Millimetern und deren Zehnteln) das Regenwasser oder das von Schnee, Hagel etc. herrührende Schmelzwasser den Erdboden bedecken würde, wenn es nicht zum Teil verdunstete, in den Boden einsickerte oder seitlich abflöße; zu ihrer Messung dient der „Regenmesser". Für die Monate und Einzeljahre gibt man die Summe der Niederschläge an; nur wenn es sich um die Niederschlagsverhältnisse mehrerer Jahre handelt, greift man zur Bildung des arithmetischen Mittels, zur „mittleren jährlichen Niederschlagssumme", indem man die einzelnen Jahressummen addiert und durch die Anzahl der Jahre dividiert.

Fig. 211.



Regenmesser System Hellmann.

Beeinflußt wird die gemessene Niederschlagshöhe durch nachstehende drei Faktoren:

1. Konstruktion des Regenmessers. Die vergleichenden Untersuchungen, namentlich durch G. Hellmann[1]) haben gezeigt, daß Regenmesser verschiedener Konstruktion auch verschiedene Niederschlagshöhen unter sonst gleichen Verhältnissen liefern; namentlich sind von Bedeutung Größe und Gestalt der Auffangefläche, sowie alles was die Verdunstung erhöht. Immerhin sind die derart geschaffenen Fehlerquellen durchweg so gering, daß sie in der Praxis vernachlässigt werden können.

Natürlich wird derjenige Regenmesser als der beste zu betrachten sein, welcher die höchsten Werte liefert, und das ist der Regenmesser System Hellmann, Modell 1886

[1]) G. Hellmann, „Bericht über vergleichende Beobachtungen an Regenmessern verschiedener Konstruktion zu Groß-Lichterfelde bei Berlin." Abhandlungen des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts Bd. I, Nr. 3. Berlin, A. Asher & Co., 1890.

(Fig. 211)[1]), der etwa seit 1887 an sämtlichen dem Kgl. Preuß. Meteorologischen Institut in Berlin unterstellten Stationen in Gebrauch ist. Der Niederschlag wird in einem 46 cm hohen weißlackierten Blechgefäß (Auffangefläche 200 qcm, umgrenzt von einem scharfkantig abgedrehten konischen Messingring) mit trichterförmigem Boden, der in eine Sammelflasche führt, aufgefangen. Morgens 7 Uhr läßt man das Regenwasser (Schnee, Hagel etc. wird vorher in einem mäßig erwärmten Raume geschmolzen, wobei der Regenmesser mit einem Deckel verschlossen ist) in ein Meßglas abfließen, an welchem man die Regenhöhe unmittelbar ablesen kann; dabei ist darauf zu achten, daß man den mittleren Teil der Wasseroberfläche, nicht aber den der Glaswand anhaftenden und daher etwas höheren Rand als Marke nimmt.

2. Aufstellung des Regenmessers. Nach den Untersuchungen von H. Wild[2]), Hellmann und J. van Bebber[3]) ist es unbedingt erforderlich, bei der Aufstellung der Regenmesser auf die Windverhältnisse Rücksicht zu nehmen, weil deren Nichtbeachtung ganz erhebliche Fehler bedingen würde. Je stärker der Wind den Regenmesser trifft, desto geringer werden die gemessenen Niederschläge. Es bilden sich dann um den Regenmesser Luftwirbel, welche das Eindringen des Niederschlages in das Sammelgefäß erschweren; namentlich ist das der Fall bei den leichten Schneeflocken, die zudem häufig genug wieder aus dem Trichter herausgewirbelt werden. Da nun die Windstärke im allgemeinen mit der Höhe über dem Erdboden zunimmt, so werden hoch (etwa auf Türmen, wie früher vorzugsweise üblich) aufgestellte Regenmesser stets erhebliche Fehlbeträge aufweisen müssen. Am besten erhellt der Einfluß der Aufstellung auf die Niederschlagshöhe aus nachstehender

---

[1]) Die sämtlichen in diesem Kapitel besprochenen Instrumente zur Messung der Niederschläge, ausgenommen die von Klempnermeister C. Walther in Berlin vertriebenen Schneedichtigkeitsmesser, welche im Stationsnetze des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts in Gebrauch sind, werden verfertigt in den optisch-mechanischen Werkstätten von R. Fuess in Steglitz-Berlin. Es stellt sich der Preis des Regenmessers auf 17 Mk., derjenige des registrierenden Regenmessers auf 176 Mk., und derjenige des registrierenden Schneemessers je nach Ausstattung auf 240 bezw. 270 Mk. Eingehende Gebrauchsanweisungen werden auf Wunsch beigegeben, im übrigen ist aber für alle bei der Aufstellung und Bedienung in Frage kommenden Einzelheiten zu verweisen auf die diesbezüglichen Ausführungen in der Veröffentlichung des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts: „Anleitung zur Anstellung und Berechnung meteorologischer Beobachtungen. I. u. II. Teil." Berlin, A. Asher & Co., 1904 u. 1905.

[2]) H. Wild, „Regenverhältnisse des russischen Reichs." V. Supplementband zum Repertorium für Meteorologie. St. Petersburg 1887.

[3]) J. van Bebber, „Vergleichende Regenmessungen an der Deutschen Seewarte." Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte XVIII. Jahrg. 1893, Nr. 3.

Tabelle, die ich auf Grund vierjähriger (1901—1904) vergleichender Beobachtungen am Meteorologischen Observatorium in Aachen berechnet habe:

		Winter,	Frühling,	Sommer,	Herbst,	Jahr	
I. Geschützt,	1 m hoch:	184	183	186	224	777	Millimeter
II. Ungeschützt,	1 m „	176	174	177	216	743	„
III. „	22 m „	87	102	132	134	455	„
Differenz I—II		8	9	9	8	34	„
		4,3	4,9	4,8	3,5	4,5	Prozent
Differenz I—III		97	81	54	90	322	Millimeter
		52,7	44,3	29,0	40,2	42,7	Prozent

Infolgedessen muß ein *richtig* aufgestellter Regenmesser gegen den (in Deutschland aus dem westlichen Quadranten kommenden) Hauptregenwind geschützt sein, und zwar sollen die Schutz gewährenden Gebäude, Bäume etc. mindestens so weit entfernt sein, als sie selbst hoch sind. Die Auffangefläche des Regenmessers soll sich im allgemeinen genau 1 m über dem Erdboden befinden; nur im Gebirge, wo die Schneedecke zu hoch anschwillt, verlegt man die Auffangefläche in 2 m Höhe. Um das Herauswirbeln der Schneeflocken zu verhindern, erhält der Regenmesser im Winter einen kreuzförmigen Blecheinsatz.

3. *Unregelmäßigkeiten beim Beobachten.* Durch das Nichtinnehalten des vorgeschriebenen Ablesetermins wird in erster Linie das Bild der täglichen Niederschlagshöhe verschoben, was für unsere Zwecke seltener von Bedeutung ist. Es kann aber in der warmen Jahreszeit die Monatssumme infolge von Verdunstung ganz erhebliche Fehlbeträge aufweisen, wenn das Wasser tagelang im Auffangegefäß verbleibt, oder gar die Entfernung des Schneeeinsatzes (der nur im Winter verwendet werden darf), vergessen wurde; besonders wird dies störend in die Erscheinung treten bei wiederholtem Vorkommen. Weitere häufiger nachweisbare Fehlerquellen sind: seitens des Beobachters unbemerkt gebliebene Undichtigkeiten und sonstige Defekte des Auffangegefäßes, sowie mutwilliges Entleeren oder Zugießen seitens Dritter.

Prüfung des Materials.

Bevor man an die eigentliche Verarbeitung des Beobachtungsmaterials herantritt, ist es unerläßlich, es auf seine Güte zu prüfen. Das Kriterium hierfür liefert die zuerst von J. *Hann*[1]) und H. *Wild* festgestellte und in der Folge immer wieder bestätigte Tatsache, daß der Gang der

[1]) J. *Hann*, „Untersuchungen über die Regenverhältnisse in Zentralungarn." II. Sitzungsberichte der Wiener Akademie, math.-naturw. Kl., LXXXI. Bd., II. Abt., S. 57 ff. Wien 1880.

Niederschlagssummen von Monat zu Monat, ebenso wie von Jahr zu Jahr, an benachbarten oder doch nicht allzuweit voneinander entfernten Stationen mehr oder weniger parallel verläuft. Man wird also für jedes Jahr die Monatssummen benachbarter Stationen in Koordinatenpapier eintragen und durch Kurven geradlinig verbinden, wobei man vorteilhaft für jede Station eine andere Farbe wählt. Überall dort, wo sich besondere Abweichungen zeigen, muß man deren Ursache an der Hand der Stationsprotokolle zu ergründen suchen; es braucht ja nicht immer ein Fehler vorzuliegen, da Gewitterregen, Hagelfälle, Schneegestöber und ähnliches meist einen ganz lokalen Mehrbetrag bedingen. Gelingt es aber nicht, eine triftige Erklärung für eine verdächtige Abweichung zu finden, so interpoliert man (siehe später) die betreffende Monatssumme oder schließt den Monat von der weiteren Verarbeitung vollständig aus; ebenso verzichtet man auf die Beobachtungen solcher Stationen, welche infolge falscher Aufstellung etc. unbrauchbare Werte liefern. Die Prüfungsresultate, soweit sie Fehler betreffen, Interpolationsrechnungen, fehlende Monatssummen etc., sowie die Stationsbeschreibungen unter Angabe der Seehöhe sollten an geeigneter Stelle mitgeteilt werden.

Reduktion nach der Hannschen Regel.

Für den Kartenentwurf ist die *Zugrundelegung eines einheitlichen Zeitraumes*[1]) ein *unerläßliches* Erfordernis, weil nur hierdurch der entstellende Einfluß einzelner nasser oder trockener Jahre verschwindet. Infolgedessen müssen alle Stationen, deren Beobachtungen diesen Zeitraum nicht voll umfassen, durch ein rechnerisches Verfahren auf ihn reduziert werden. Um den Anschluß an andere Veröffentlichungen zu erleichtern, wählt man einen *fünfjährigen* Zeitraum (Lustrum) oder ein Vielfaches davon, wobei zu beachten ist, daß nach allgemeiner Übereinkunft jedes Lustrum mit dem Jahre 1 oder 6 des Dezenniums beginnt; zudem ist zu beachten, daß die Bildung von Lustren-Mitteln bezw. -Summen die *Brückner*schen[2]) Klimaschwankungen am besten hervortreten läßt.

Als „*Normalstation*" gelten solche Stationen, deren Messungen den der Bearbeitung zu Grunde gelegten Zeitraum, die „Normalperiode", lückenlos umfassen und außerdem der strengen Kritik standgehalten haben. Von ihnen geht das Reduktionsverfahren aus, die rechnerische

[1]) Für Deutschland ist das gesamte, derartig einheitlich bearbeitete Niederschlagsmaterial niedergelegt in G. *Hellmann*, „Die Niederschläge in den norddeutschen Stromgebieten". 3 Bände. Berlin, Dietrich Reiner (Ernst Vohsen), 1906.

[2]) *Brückner*, „Klimaschwankungen seit 1700." Bd. 4, Heft 2 von *Pencks* Geographischen Abhandlungen. Wien 1890.

Ableitung vergleichbarer Mittelwerte der Niederschlagsmenge, nach dem bereits vorher angeführten Erfahrungssatze, der sogenannten „Hannschen Regel“, welche wir für unseren Fall wie folgt formulieren können:

Auch die Anomalien der Regenverteilung treten, wie die des Luftdruckes und der Temperatur[1]), über größeren Teilen der Erdoberfläche gleichzeitig im gleichen Sinne und mehr oder weniger auch im gleichen Ausmaße auf. Nur gilt dieser Satz für die Niederschläge in viel beschränkterem Maße und im allgemeinen für viel kleinere Gebiete, als dies für die Temperatur und namentlich für den Luftdruck der Fall ist.

Setzen wir:

$s\,a$ = Niederschlagssumme, gemessen an irgend einer Station a,

$s\,n$ = zu $s\,a$ korrespondierende Niederschlagssumme der Normalstation, und

$S\,N$ = Niederschlagssumme der Normalperiode an der Normalstation,

dann ergibt sich:

$S\,A$ = berechnete Niederschlagssumme, welche in der Normalperiode an der Station a gemessen worden wäre,

nach der Gleichung:

$$S\,A = S\,N \frac{s\,a}{s\,n}$$

Bei der Reduktion nach dieser Gleichung hat man aber der Auswahl der Normalstation besondere Aufmerksamkeit zu schenken. In erster Linie darf die Normalstation nicht weit entfernt sein, ferner darf man Höhenstationen nur auf Höhenstationen, Flachlandstationen nur auf Flachlandstationen reduzieren, und schließlich müssen beide Stationen entweder im Luv[2]) oder beide im Lee des Regenwindes liegen.

Im allgemeinen wird der durch Reduktion gefundene Wert den tatsächlichen Verhältnissen um so näher kommen, je länger einerseits die Normalperiode, anderseits der Zeitraum der Beobachtungen an der Station a ist. Um sich ein Urteil über die Fehlergrenze zu verschaffen, kann man von den Messungen einer Normalstation einige Jahre ausschließen und diesen Wert dann mittels einer benachbarten Normalstation auf die Normalperiode umrechnen.

Selbstverständlich ist es nicht angängig, auf eine solche Station als Normalstation zu reduzieren, deren Wert für die Normalperiode nicht durch Messung, sondern durch Reduktion gewonnen worden ist.

---

[1]) Für die Darstellung der Temperatur- und Luftdruckverhältnisse hat das Reduktionsverfahren nach der Hannschen Regel also auch Gültigkeit.

[2]) Als Luvseite eines Gebirges bezeichnet man die den hauptsächlichsten Regenwinden direkt zugewandte Seite, als Leeseite die abgekehrte.

Kartierung.

Wenn sämtliche Reduktionen durchgeführt sind, so trägt man die Werte in eine topographische Karte ein. Es ist klar, daß letztere bezüglich ihres Maßstabes in richtigem Verhältnis sowohl zur Anzahl der Stationen, als auch zur Topographie des Geländes stehen muß; denn ein dichtes Stationsnetz und ein Gelände mit starker vertikaler Gliederung wird ein viel eingehenderes Bild der Niederschlagsverteilung ergeben als ein weitmaschiges Stationsnetz oder ein flaches Gelände. Normen lassen sich hierfür natürlich nicht aufstellen. Von den gleichen Umständen wird der Abstand der einzuzeichnenden Linien gleicher Niederschlagshöhen, der „Isohyeten" abhängen, welcher für deutsche Verhältnisse meist 100 mm, seltener 50 mm, sonst aber durchweg 200—250 mm betragen dürfte.

Bei der Konstruktion der Isohyeten (die zunächst vorteilhaft auf einem die Arbeitskarte überdeckenden Stück Pauspapier geschieht) wird man von vornherein stets im Auge behalten müssen, daß:

1. Die Niederschlagshöhe[1]) im allgemeinen eine Funktion der Seehöhe ist. Selbst mäßige Bodenerhebungen geben durch

[1]) Bekanntlich entstehen Bewölkung und Niederschläge in der Hauptsache durch das Aufsteigen feuchter Luftmassen. Beim Aufsteigen kommen die Luftmassen unter stets geringer werdenden Druck, infolgedessen sie sich ausdehnen, d. h. Arbeit leisten. Nach den Gesetzen der Physik muß jede Arbeitsleistung durch eine gleichwertige Wärmemenge ersetzt werden, welche im vorliegenden Falle der Luft entnommen wird und sich demgemäß in deren Abkühlung bemerkbar macht. Ein Zahlenbeispiel nach Hann („Lehrbuch der Meteorologie", S. 307 ff., Leipzig 1901) möge den Vorgang näher beleuchten: Wenn ein Luftstrom, welcher an der Erdoberfläche eine Temperatur von 30° C. bei einer relativen Feuchtigkeit von 50% besitzt, emporsteigt, dann wird in einer Seehöhe von 1400 m, wo die Wärme bereits auf 16° zurückgegangen ist, die teilweise Kondensation des Wasserdampfes beginnen. Es bilden sich zunächst Wolken, die sich bei weiterem Aufsteigen bezw. Abkühlen mehr und mehr verdichten. Sind die in den Wolken noch schwebenden Wassertröpfchen so zahlreich und dicht geworden, daß sie vielfach zusammenstoßen, dann bilden sich größere Tropfen durch Vereinigung mehrerer; diese überwinden den Luftwiderstand besser und erreichen nunmehr rascher herabfallend den Boden als Regen. In 4800 m Seehöhe gelangt der Luftstrom auf den Gefrierpunkt 0°, und die eigentliche Hagelbildung kann eintreten, wird aber meist in einem mindestens noch 200 m höherem Niveau beginnen. Das beim Aufstiege bis zu dieser Höhe innerhalb einer Stunde ausgeschiedene Wasser würde eine Niederschlagshöhe von 37 mm ergeben. — Absteigende Luftströme üben dementsprechend die entgegengesetzte Wirkung aus. Hier gelangt die Luft unter stets zunehmenden Druck, wodurch sie sich erwärmt; dabei entfernt sie sich immer mehr von ihrem Taupunkt, d. h. sie wird trockener. Wolkenbildungen und Niederschläge werden also immer geringer und fallen schließlich ganz weg.

Trifft mithin ein feuchter, von der See herstammender Luftstrom einen Gebirgszug, so wird er, bis zu einer gewissen Grenze, umsomehr Niederschlag aus-

Erzeugung eines wenn auch nur sehr geneigt aufsteigenden Luftstromes Anlaß zum Anwachsen der Niederschläge. Jedoch hält die Niederschlagszunahme nur bis zu einer gewissen Höhe an, dann kehren sich die Verhältnisse wieder um; wo diese Maximalzone liegt, hängt von den Temperaturverhältnissen ab, weil ja die Luft bei einer bestimmten Temperatur nur eine bestimmte Wasserdampfmenge zu halten vermag; dazu kommt noch, daß der Luft in größeren Höhen keine oder höchstens sehr geringe Feuchtigkeit zugeführt wird.

2. Daß infolge der Stauwirkung auf der Luvseite das Ansteigen der Niederschlagshöhe schon in der Ebene vor dem Fuße des Gebirges beginnt.

3. Daß der gleichen Seehöhe auf der Luvseite eines Gebirges eine größere Niederschlagshöhe entspricht als auf der Leeseite;

Danach wird sich in großen Zügen die Linienführung der Isohyeten richten, zumal wenn das Stationsnetz wenig dicht ist. Hieraus ergibt sich aber von selbst die Notwendigkeit, daß aus der Arbeitskarte der Geländeaufbau entweder durch Schraffen oder Schummerung, besser noch durch Höhenschichtenkurven, ersichtlich ist. Wie sehr die Darstellung der Beziehungen zwischen Niederschlagshöhe und Bodengestalt bei völligem Vertrautsein mit den klimatologischen Eigentümlichkeiten und topographischen Verhältnissen eines Gebietes ins Detail getrieben werden kann, wenn Regenstationen in genügender Anzahl und zweckmäßiger Verteilung vorhanden

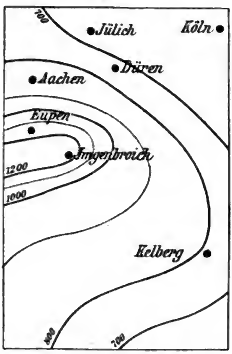
scheiden, je höher und je näher letzterer dem Meere gelegen ist. Die Ausscheidung ist dort am größten, wo die herrschende Windrichtung den Gebirgszug trifft, also auf der Luvseite. Die entgegengesetzte Gebirgsabdachung, die Leeseite, an der die Luft heruntersinkt, wird daher wieder folgeweise trockener, und zwar sehr schnell, weil auf der Luvseite die größte Menge des Wasserdampfes bereits entzogen worden ist; die Orte auf der Leeseite liegen also gleichsam im „Regenschatten" des Gebirges. In der Ebene aber nimmt die Niederschlagshöhe infolge der „Stauwirkung" schon zu, bevor der Fuß des Gebirges erreicht ist, da die an dem Gebirge gestaute Luft auch die hinter ihr gelegenen Partien in ihrer horizontalen Bewegung hemmt und damit zum Aufstiege zwingt. Nachstehende Tabelle (nach P. Polis, „Die Niederschlagsverhältnisse der mittleren Rheinprovinz und der Nachbargebiete", Bd. 12, Heft 1 der Forschungen zur deutschen Landes- und Volkskunde, Stuttgart 1899) zeigt deutlich die Abhängigkeit der Niederschlagshöhe von der Seehöhe, indem sie einen südwestlichen Luftstrom auf seinem Wege über zwei Gebirge und das dazwischen liegende Tal begleitet:

	Luvseite						Leeseite				Luvseite					
	Belg. Tiefland	Hohes Venn									Jül. Bergl.	Rhein-Ebene	Berg. Höhen		Sauerl. m. Ebbegeb.	
Mittlere Seehöhe in m	70	166	279	343	559	**648**	565	470	346	263	144	68	142	228	337	**420**
Mittl. Niederschlagshöhe i. mm	621	873	946	975	1190	**1204**	1064	810	662	560	579	611	741	993	1109	**1130**
Differenz d. Niederschlagshöhen	—	+252	+73	+29	+215	+14	-150	-244	-148	-102	+19	+32	+130	+252	+116	+21
											Stauwirkung.					

sind, zeigt am besten die letzte der am meteorologischen Observatorium in Aachen bearbeiteten Niederschlagskarten[1]) der Eifel (Fig. 214), der die mit Isohypsen ausgestattete „Topographische Übersichtskarte des Deutschen Reiches im Maßstab 1 : 200 000" der Kgl. Preuß. Landesaufnahme (Berlin) zur Unterlage gedient hat, zumal wenn man die Entwicklung des Kartenbildes des gleichen Gebietes seit v. Möllendorf[2]) im Jahre 1862 verfolgt.

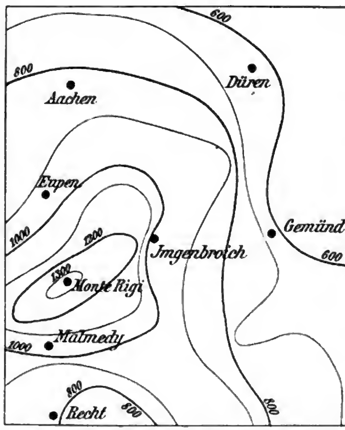
Zu den hier abgebildeten Niederschlagskarten der Eifel Fig. 212—214 ist zu bemerken, daß die im Jahre 1886 entworfene Zieglersche Karte

Fig. 212.



Niederschlagskarte der Eifel. Nach J. Ziegler, 1886. Originalmaßstab 1 : 1 700 000.

Fig. 213.



Niederschlagskarte der Eifel, Mittel 1886—95. Nach P. Polis, 1898. Originalmaßstab 1 : 800 000.

keinen einheitlichen Zeitabschnitt umfaßt und sich lediglich auf die 7 Stationen stützen konnte, welche im Kartenbilde enthalten sind, während den beiden anderen Karten die Messungen von 38 bezw. 62 Stationen zu Grunde liegen.

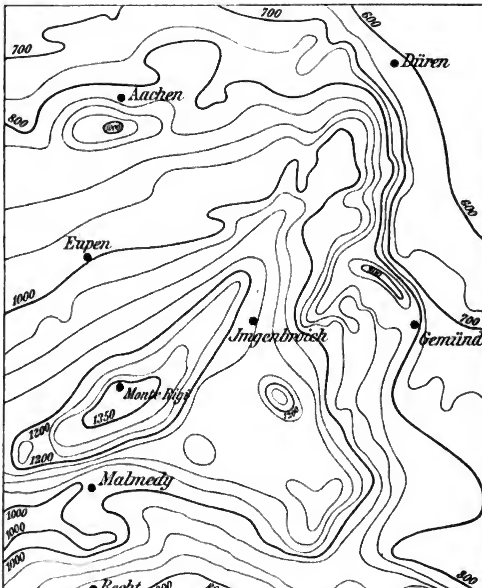
---

[1]) Nach „Niederschlagskarte der Flußgebiete Ahr, Erft und Roer auf Grund 10jähriger Beobachtungen 1893—1902", entworfen von P. Polis, gezeichnet von A. Sieberg; in P. Polis, „Zur Hydrographie von Ahr, Erft und Roer", Boltzmann-Festschrift, Leipzig 1904, sowie Taf. II des Deutschen Meteorologischen Jahrbuches für Aachen 1903, Jahrgang IX, Karlsruhe 1905.

[2]) Vgl. die Literaturangaben in der bereits zitierten Untersuchung von P. Polis, „Die Niederschlagsverhältnisse der mittleren Rheinprovinz etc."

Häufig wird es sich empfehlen, die Untersuchung und Kartierung außer für das Jahr für die einzelnen Jahreszeiten getrennt durchzuführen; denn da die Windverhältnisse in den Jahreszeiten und Monaten wechseln, kann es vorkommen, daß Luv- und Leeseite eines Gebirges einander ver-

Fig. 214.



Niederschlagskarte der Eifel, Mittel 1893—1902. Nach P. Polis, 1904. Originalmaßstab 1:200000.

tauschen, womit eine vollständige Verschiebung der geographischen Niederschlagsverteilung verbunden ist. Hierbei ist zu beachten, daß das meteorologische Jahr vom Dezember bis zum darauffolgenden November gezählt wird; demgemäß umfaßt der Winter die Monate Dezember, Januar und Februar, woran sich die übrigen Jahreszeiten entsprechend anschließen. Bei besonderen Naturereignissen, wie Platzregen etc., wird man sogar Tageskarten zu entwerfen haben.

Bestimmung der Wassermengen.

Bei manchen Fragen der Praxis, etwa wenn es sich um Anlage von Staubecken, Wasserversorgung und Kanalisation von Städten handelt, hat man sich Rechenschaft zu geben über die M e n g e n des Niederschlagswassers. Da 1 mm Niederschlagshöhe einem Liter Wasser pro Quadratmeter entspricht, so läßt sich für irgend ein Gebiet mit bekanntem Flächeninhalt die darin gefallene Wassermenge leicht berechnen, wenn man die einzelnen von den Isohyeten umschlossenen Flächenstücke auf der Niederschlagskarte mittels eines P l a n i m e t e r s ausmißt. Verzichtet man auf die Planimetrierung, so kann man hinlänglich a n g e n ä h e r t e Werte erhalten, wenn man das Mittel aus den an sämtlichen Stationen eines Niederschlagsgebietes ermittelten Werten bildet und dieses mit der Bodenfläche des Niederschlagsgebietes[1]) multipliziert.

Fig. 215.



Registrierender Regenmesser
System H e l l m a n n.

Schwellenwerte.

In solchen Fällen erweist es sich auch als wichtig, genaue Anhaltspunkte über starke, aber nur kurze Zeit anhaltende Niederschläge zu gewinnen, wie sie uns die sommerlichen Gewitter- und Platzregen bringen. Für derartige Untersuchungen der „S c h w e l l e n w e r t e“ sind wir in erster Linie auf die Aufzeichnungen mittels selbsttätig (automatisch) registrierender Regenmesser oder „P l u v i o g r a p h e n“ angewiesen, weil sie uns die Messung der in Intervallen von ca. 2 Minuten gefallenen Regenmengen ermöglichen. An den deutschen und sehr vielen ausländischen Stationen ist der in Fig. 215 abgebildete „Registrierende

[1]) Für die norddeutschen Stromgebiete entnimmt man die Flächeninhalte der einzelnen Niederschlagsgebiete dem vom Kgl. P r e u ß. M i n i s t e r i u m f ü r L a n d w i r t s c h a f t, D o m ä n e n u n d F o r s t e n herausgegebenen „Verzeichnis der Flächeninhalte der Norddeutschen Stromgebiete“, Berlin 1893, sowie der „Wasserkarte norddeutscher Stromgebiete“ im Maßstab 1 : 200 000.

Regenmesser System Hellmann-Fueß"[1]) in Betrieb, der den an solche Instrumente zu stellenden Anforderungen wohl am meisten entsprechen dürfte. Hier bringt der zulaufende Regen im Zylinder *G* einen Schwimmer zum Steigen, der die Schreibfeder *S* trägt, welche ihrerseits auf der Registriertrommel *T* eine Kurve verzeichnet. Ist der Zylinder gefüllt, so entleert sich sein Inhalt durch einen Heber selbsttätig, so daß die Registrierung ungestört ihren Fortgang nehmen kann. Zu bemerken ist jedoch, daß sich dieser Apparat bei Frostwetter nicht benutzen läßt. An seine

Fig. 216.



1/12 n. Gr.

Registrierender Schneemesser System Hellmann-Fueß.

[1]) Beschreibung, sowie Anleitung für die Aufstellung, Bedienung und Auswertung der Registrierungen dieses Instrumentes finden sich im II. Teile, S. 25 ff. der vom Kgl. Preuß. Meteorologischen Institut herausgegebenen „Anleitung". — Die Art und Weise der Bearbeitung derart gewonnenen Materials, die hier nicht näher zu erörternde Bestimmung der Schwellenwerte etc. ersieht man am besten aus den von G. Hellmann bearbeiteten „Ergebnisse der Niederschlagsbeobachtungen in den Jahren 1897 und 1898" und den folgenden, erschienen als Veröffentlichung des Kgl. Preuß. Meteorologischen Instituts, oder aber aus der entsprechend aufgebauten Untersuchung von P. Polis, „Das Klima von Aachen, IX. Teil. Ergebnisse der Niederschlagsregistrierungen", Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für Aachen 1902. — Wer die aus den Registrierungen gewonnenen Stundenwerte bezw. deren Mittelwerte zur Ableitung von Perioden benutzen will, wird mit Vorteil von einem einfachen Ausgleichsverfahren Gebrauch machen, welches der Periode einen ruhigeren Gang verleiht. Zu diesem Zwecke ersetzt man jedesmal das betreffende Stundenmittel *b* durch einen nach der Formel $\frac{1}{4}(a + 2b + c)$ berechneten Zahlenwert, wobei *a* und *c* entsprechend den jedesmaligen Mittelwert der *b* voraufgehenden und nachfolgenden Stunde bilden.

Stelle tritt der „registrierende Schneemesser System Hellmann-Fueß" (Fig. 216), falls man im Winter die Niederschlagsregistrierungen nicht unterbrechen will. Hier erfolgt die Messung der gefallenen Schneemenge durch Wägung: Eine Neigungswage nach Art der Briefwagen trägt ein größeres Gefäß *A*, in welches der Schnee fällt. Da der Schnee gewogen wird, so hat seine Beschaffenheit, ob naß, gefroren, flockig u. s. w., keinen Einfluß auf die Richtigkeit der Aufzeichnungen. Zum bequemen Vergleich mit den sommerlichen Niederschlägen erfolgt auch bei diesem Instrument die Messung in „Millimeter Regen".

Schneemessungen.

Nicht genügend berücksichtigt werden zur Zeit noch die Schneeverhältnisse[1]), speziell die Schneedichte. Als Schneedichte bezeichnet man den reziproken Wert der spezifischen Schneetiefe; letztere gibt die Höhe der Schneelage an, welche der Höhe der Wasserschicht 1 zukommt. Zahlreiche und an den verschiedensten Orten vorgenommene Messungen ergaben als Mittelwert für die Schneedichte 0,10—0,08, demzufolge eine Lage frisch gefallenen Schnees von 10—12 cm Höhe eine Wasserhöhe von 1 cm gibt. Die Einzelwerte weichen aber naturgemäß im allgemeinen recht erheblich von diesem Mittelwerte ab: einmal wird alter, festgefügter Lagerschnee mehr Wasser aufgespeichert enthalten als eine gleich hohe Decke von lockerem Neuschnee; anderseits ist der bei Temperaturen um und über 0° fallende „nasse" Schnee viel wasserreicher als der bei tiefen Temperaturen ruhig heruntersinkende flaumige „trockene" Schnee.

Die Schneedichte berechnet man nach der Formel:

$$\frac{\text{a mm Schmelzwasserhöhe}}{\text{b cm Schneehöhe}} = \text{c mm Wasser in 1 cm Schneehöhe.}$$

Man bedarf also vorher der Kenntnis der Schneehöhe und der zugehörigen Schmelzwasserhöhe. Die Höhe der Schneedecke wird, falls eine solche vorhanden ist, jeden Tag um 7 Uhr Morgens vermittels eines Zenti-

[1]) Vgl. A. Sieberg, „Die Schneeverhältnisse von Aachen unter Berücksichtigung praktischer Fragen." Deutsches Meteorologisches Jahrbuch für Aachen 1901, S. 36 ff., Karlsruhe 1902. — Beispielsweise waren am 25. Februar 1901 in dem ca. 49 qkm umfassenden Aachener Talbecken annähernd 2 730 000 cbm Wasser als Schnee aufgespeichert (ungefähr das Doppelte des Fassungsvermögens der Remscheider Talsperre), welche bei plötzlicher Schneeschmelze unbedingt eine starke Überschwemmung der Wurmniederung zur Folge gehabt haben würden. Dieser Wert ist am gleichen Orte übrigens noch häufig annähernd erreicht worden.

meterstabes oder, bei größerer Mächtigkeit, mittels eines von Klempnermeister C. Walther in Berlin verfertigten hohlen Meßstabes (Fig. 217) an einer Stelle gemessen, wo sich eine von äußeren Einflüssen unberührte Schneelage vorfindet. Zu der sich daran anschließenden Ermittlung der Schmelzwasserhöhe dient ein gleichfalls von Walther hergestellter Schneedichtigkeitsmesser[1]) nach Hellmann (Fig. 218). Es ist dies ein Zinkblechzylinder von gleichem Durchmesser wie der Hellmannsche Regenmesser, an dessen Boden zur bequemeren Handhabung ein Holzgriff angebracht ist. Dieser Apparat wird derart benutzt, daß man eine dazu gehörige flache Schaufel dicht am Erdboden unter die Schneedecke schiebt, deren Höhe mißt und dann mittels des Schneedichtigkeitsmessers einen Schneezylinder aussticht; natürlich hat beides auf der Schaufel zu geschehen. Es erübrigt dann nur noch die Höhe des Schmelzwassers mit dem Meßglase des Regenmessers zu bestimmen.

Fig. 217.



Schneemeß-stab.

Fig. 218.



Schneedichtigkeitsmesser nach Hellmann.

Während mit vorstehend beschriebenem Apparat nur die Gesamtdichtigkeit der ganzen Schneedecke gemessen wird, gestattet der von Richard Müller-Uri in Braunschweig vertriebene Schneedichtigkeitsmesser System Polis die Dichtigkeitsbestimmung der einzelnen Schichten der Schneedecke. In einem 40 cm hohen Zinkblechzylinder von der gleichen Oberfläche wie der Hellmannsche Regenmesser lassen sich nämlich 8 Schieber in je 5 cm Abstand einschieben, so daß man in wenigen Augenblicken den ganzen ausgestochenen Schneezylinder in gleich hohe Schichten zerlegen kann, die man einzeln schmilzt.

Ist in einem meteorologischen Stationsnetze ein derartiger Schneemeßdienst organisiert, dann lassen sich natürlich auf Grund dieser Beobachtungen auch Karten der Schneehöhe und des Wassergehaltes konstruieren.

[1]) Dieselben Dienste leistet natürlich auch das Auffanggefäß eines gewöhnlichen Hellmannschen Regenmessers und eine starke Blechplatte.

Regelmäßig durchgeführt werden solche Untersuchungen bisher nur in dem dem Meteorologischen Observatorium in Aachen angegliederten ungewöhnlich dichten Stationsnetze in der Nordeifel und dem Venn, welches speziell für die dort erbauten und projektierten Talsperren den Wasserhaushalt in allen Einzelheiten klarstellen soll.

II. Unterirdische Gewässer.

Kapitel 50.

Die Aufsuchung von Grundwasser.

Das Wasser findet sich, wenn man von dem in den Mineralien chemisch gebundenen absieht, unterhalb der Erdoberfläche im gasförmigen, flüssigen und festen Aggregatzustande. Als Wasserdampf bildet es einen Bestandteil der unterirdischen Atmosphäre, die mit der oberirdischen in geschlossenem Zusammenhange sich befindet. Als Eis findet es sich in unseren Breiten im Winter, in manchen polaren Gebieten dauernd in den oberen Bodenschichten. Als flüssiges Wasser endlich kommt es in zwei verschiedenen Arten vor, nämlich einmal als kapillar festgehaltene, nur an der Oberfläche der Gesteinshohlräume haftende, der freien, fließenden Bewegung ihrer einzelnen Teile beraubte Bergfeuchtigkeit und sodann als zusammenhängende, die gesamten Hohlräume eines Gesteinskörpers erfüllende Flüssigkeit, die wir als Grundwasser bezeichnen.

Letztere kann in derselben Weise wie die oberirdischen Gewässer einen freien Abfluß besitzen und auf ihrer Oberfläche überall die unterirdische Atmosphäre aufruhend haben. Solches Wasser bezeichnen wir als Grundwasser mit luftberührtem Wasserspiegel; oder es kann sich befinden in von allen Seiten mit undurchlässigem Gebirge umgebenen Gesteinsmassen, in denen es wie in einer Röhre fließend sich bewegt; dabei entstehen Pressungen auf die Wandungen, die den normalen atmosphärischen Druck übersteigen. Solches Wasser bezeichnen wir als artesisches Grundwasser.

Die Menge des im Boden enthaltenen Grundwassers ist abhängig von der der jährlichen Niederschläge (vgl. über deren Messung Kapitel 49), von ihrer jahreszeitlichen Verteilung, vom Betrage der Verdunstung, von der Art der Vegetation oder Kultur und vor allen Dingen von der größeren oder geringeren Wasseraufnahmefähigkeit und Durchlässigkeit des Bodens. Um zu ermitteln, wie groß der Anteil des zur Speisung des Grundwassers verwendeten Niederschlagswassers und Wassergehaltes der Atmosphäre ist, muß man alle diese Faktoren sorgfältig berücksichtigen. Spezielle

Regeln hiefür lassen sich nicht aufstellen. Als allgemeine Regel für diese Untersuchungen führt Lueger[1]) folgendes an:

„Im vegetationslosen Boden steigen und fallen die Sickerwasser mit den Niederschlagsmengen, aber in verschiedenem Verhältnis; letzteres ist abhängig von der physikalischen Beschaffenheit des Bodens und dessen Oberfläche, sowie von der Verteilung der Niederschläge und der Jahreszeit. Je größer das Verdunstungsvermögen und die Wasserkapazität der Oberflächenschicht, je geringer die Permeabilität des Untergrundes ist, umso kleiner sind unter sonst gleichen Umständen die jeweils in demselben auftretenden Sickerwassermengen, und umgekehrt. Aus diesem Grunde ist die Absickerung des Wassers in die Tiefe in dem Maße vermindert, als der Gehalt des Erdreichs an feinkörnigen ton- und humusreichen Bestandteilen zu-, an größeren nichtkapillaren Hohlräumen abnimmt und umgekehrt. Die Bedeckung des Bodens mit leblosen Materialien (abgestorbenen Pflanzen und Pflanzenteilen, Steinen, Sand, grobkörnigen Erdarten) hat eine beträchtliche Vermehrung, die Bedeckung mit vegetierenden Pflanzen oder mit einer Erdart, welche das Wasser stark zurückhält, dagegen eine ganz außerordentliche Verminderung der Sickerwassermenge zur Folge. Die größten Wassermengen treten in der Tiefe des Bodens gemeinhin in jenen Jahreszeiten auf, in welchen die Niederschläge am ergiebigsten sind; eine Ausnahme hievon machen jene Gegenden, in welchen im Winter der Boden gefriert und dadurch undurchlässig wird. In letzterem Falle verschiebt sich meist die Abfuhr der Niederschläge von der kälteren Jahreszeit auf das Frühjahr. In Bezug auf das relative Verhältnis der Sickerwassermengen zur Niederschlagsmenge gilt im allgemeinen das Gesetz, daß von dem zugeführten Wasser umsomehr unterirdisch abgeführt wird, je kälter die Jahreszeit ist (solange der Boden nicht zufriert). In dem mit lebenden Pflanzen bestandenen Boden folgen die Sickerwasser während der Vegetationsperiode nicht dem Gange der Niederschläge, sondern werden infolge der bedeutenden Verdunstung der Pflanzen in ungewöhnlicher Weise vermindert. Aus diesem Grunde fällt auf allen bebauten Ländereien, gleichviel, wie die Niederschläge verteilt sind, die Periode der stärksten unterirdischen Wasserabfuhr in die kältere, vegetationslose Jahreszeit, — je nach den herrschenden Wärmeverhältnissen in den Winter oder in das Frühjahr.“

Die meteorologischen Daten liefern einen Anhalt über die Menge der Niederschläge in dem zu untersuchenden Gebiete. Mit Hilfe der oben angegebenen allgemeinen Regeln muß man versuchen, sich ein Bild davon zu machen, wieviel von ihnen in den Boden eindringt, also diesem auch wieder entzogen werden kann. Zu diesem Zwecke ist es erforderlich,

[1]) Lueger, Die Wasserversorgung der Städte, I, Stuttgart.

die in dem Gebiete vorhandenen offen fließenden Wässer einer Untersuchung auf ihre Wassermenge zu unterziehen, sowie daraufhin, ob sie in dem Gebiete unterirdische Grundwasserzuflüsse erhalten und wie groß diese sind. Man erlangt darüber Gewißheit, indem man die Wassermenge der betreffenden Gewässer an je zwei Punkten, zwischen denen sie keine oberirdischen Zuflüsse erhalten, mißt. Wird das flußabwärts gelegene Profil von einer größeren Wassermenge passiert, so kann man annehmen, daß auf der Zwischenstrecke dem Wasserlaufe Grundwassermengen zufließen. Gerade an solchen Stellen hat man natürlich die begründetste Aussicht, im Talboden und zwar schon in geringer Tiefe, Grundwasser aufzufinden.

Überhaupt hat man die meiste Aussicht, Grundwasser in größeren Mengen aufzuschließen, wenn man im ebenen Talboden der heutigen Gewässer sowie in weiten alluvialen Niederungen nach ihm sucht, und zwar sind die Grundwassermengen umso größer, je mehr man sich dem offenen Wasserlaufe und damit der tiefsten Stelle des Tales und der Niederung nähert. Wenn hier Grundwasser fortgenommen wird, so erfolgt sogar durch Filtration ein Ersatz desselben aus dem offenen Wasser, und es stehen auf diese Weise natürlich sehr große Wassermengen zur Verfügung.

Es sind aber nicht bloß die Täler mit größeren offenen Wasserläufen, in denen sich unterirdische Grundwasserströme bewegen, sondern es besitzen diese Eigenschaft auch eine sehr große Menge sogenannter toter Täler. Sowohl in Norddeutschland, wie auch auf der oberschwäbischen und oberbayrischen Hochebene gibt es zahlreiche vortrefflich ausgebildete Täler mit deutlichen Talrändern, ebenem Talboden und einseitiger Neigung, die heute entweder gar keinen oder nur einen zu ihrer Größe in gar keinem Verhältnisse stehenden oberirdischen Wasserlauf besitzen. Sie sind alle unter den total verschiedenen hydrographischen Verhältnissen der diluvialen Eiszeit entstanden und haben mit dem Verschwinden des Eises ihren Wasserlauf verloren. Aber fast immer bewegt sich in den überaus durchlässigen Schottern, Kiesen und Sanden, mit denen diese Täler zumeist erfüllt sind, ein Grundwasserstrom, dessen Bewegung von den Rändern nach der Mitte zu und dann in dieser, der Neigung des Tales folgend, verläuft. Aus einem solchen toten Tale bezieht z. B. Leipzig sein Wasser.

Verliert ein Fluß an einer Stelle eine bedeutende Menge seines Wassers und nimmt derselbe oder ein anderer benachbarter Fluß eine große Wassermenge an einer tiefer gelegenen Stelle auf, so kann zwischen beiden Punkten eine unterirdische Grundwasserströmung bestehen, die unter Umständen zur Wasserentnahme geeignet ist.

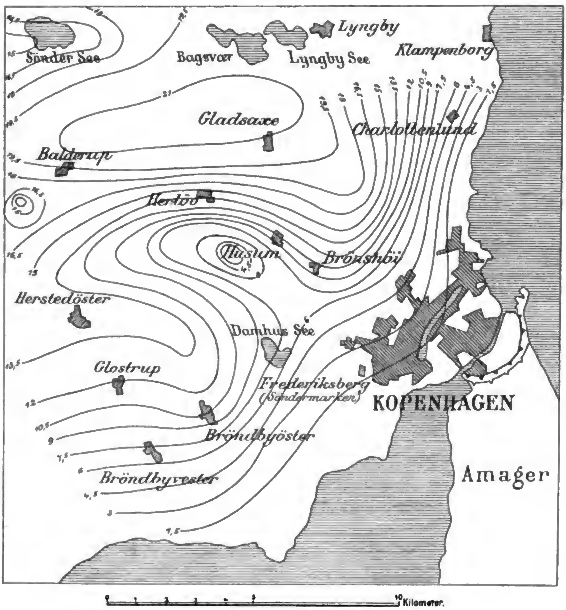
Die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit der Gesteine. Das Verhältnis zwischen einer bestimmten Gesteinsmenge und den von ihr eingeschlossenen Hohlräumen kann entweder nach

Gewicht oder nach Volumen bestimmt werden. Das Gewichtsvolumen eines Gesteins bestimmt sich nach der Formel: $\frac{p_2-p_1}{p_1}$, darin bezeichnet p_1 das Trockengewicht einer bestimmten Gesteinsmenge und p_2 das Gewicht der gleichen Menge vollständig mit Wasser gesättigten Gesteins. Haben wir beispielsweise die ein Gefäß erfüllende Sandmenge zu 7000 g und das Gewicht derselben vollkommen mit Wasser gesättigten Sandmenge zu 1000 g ermittelt, so ergibt sich nach dieser Formel $\frac{1000-700}{700} = \frac{3}{7}$, d. h. der Sand vermag $^3/_7$ seines Gewichtes an Wasser zu beherbergen. Zur Bestimmung des Porenvolumens bedient man sich der Formel $\frac{v_1}{v_{11}-v_1}$, darin bezeichnet v_1 das Volumen der von einer bestimmten Gesteinsmenge v_{11} aufgenommenen Wassermasse. Fülle ich beispielsweise ein Gefäß von 1 Liter = 1000 cm³ Inhalt mit trockenem Sand und fülle dann so lange Wasser zu, bis dessen Spiegel mit der Oberfläche des Gefäßes genau abschneidet, so kann ich, wenn ich das zugegebene Wasserquantum beispielsweise zu 400 cm³ ermittelt habe, feststellen, daß das Porenvolumen des Sandes 40 Prozent des gesamten Volumens oder $^2/_3$ des Gesteinsvolumens ausmacht. Die Aufnahmefähigkeit der Gesteine für Wasser ist von größter Bedeutung und schwankt innerhalb ganz außerordentlicher Grenzen. Am geringsten ist sie bei Graniten, kristallinem Marmor, Tonschiefern, Kieselschiefern, dichten Sandsteinen, in denen sie weniger als 10 cm³ im Liter beträgt. In lockeren Sandsteinen beträgt dieser Wert zwischen 100 und 300, in den meisten nicht kristallinischen Kalksteinen zwischen 100 und 200, in der Kreide von 200 bis über 400, in Kiesen und Sanden zwischen 360 und 420 und in manchen sandig-lehmigen Böden bis zu 550 cm³ im Liter.

Das Gefälle des Grundwassers. Zur Bestimmung des Grundwassergefälles ist es nötig, die Oberfläche des Grundwasserspiegels innerhalb des zu untersuchenden Gebietes an einer größeren Anzahl von Stellen, deren Zahl von der Gleichmäßigkeit der Neigung der Grundwasseroberfläche abhängt, zu untersuchen. Diese Beobachtungen sind entweder in vorhandenen Brunnen anzustellen oder, wenn diese nicht in genügender Zahl vorhanden sind, in besonders zu diesem Zwecke niedergebrachten, verrohrten Bohrlöchern. Letztere sind dann selbstverständlich in planmäßiger Weise so anzusetzen, daß sie die zu untersuchende Fläche mit einem gleichmäßigen Netze überdecken; alsdann wird durch Nivellement die Lage der Terrainoberkanten bei jedem Bohrloche oder Brunnen festgestellt und hierauf die Tiefenlage des Wasserspiegels unter der Terrainoberfläche gemessen. Bei geringer Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Oberfläche bedient man sich zu diesem Zwecke eines Schwimmers mit aufgesetztem Meßstabe. Der Nullpunkt der Meßstabeinteilung fällt zu-

sammen mit der ursprünglich vor Einsenkung des Schwimmers in das Wasser vorhandenen Oberfläche des letzteren. Bei größeren Tiefen läßt man den Schwimmer an einer starken Schnur in das Wasser herunter. Nach diesen beiden Zahlenwerten berechnet man sich die absolute Höhenlage des ermittelten Grundwasserspiegels für die einzelnen Orte (d. h. die

Fig. 219.



auf den Meeresspiegel bezogene Höhe) und verbindet nun die Punkte gleichen Grundwasserstandes durch Linien von gleichem vertikalen Abstande, also beispielsweise durch solche von 5 zu 5 m oder von 1 zu 1 m, oder bei dichtem Beobachtungsnetze von geringem Gefälle auch von Dezimeter zu Dezimeter. Eine solche Karte gibt also die Oberfläche und die Richtung und den Grad der Neigung der Grundwasserwelle für das betreffende Gebiet. Wo die Kurven eng aneinander rücken, zeigen sie ein starkes Gefälle des Grundwasserstromes an, verraten also, daß hier bedeutendere Wassermengen ein gegebenes

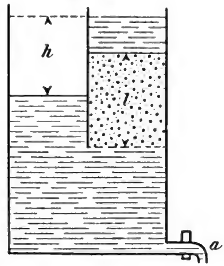
Profil passieren und daß eine zur Wasserentnahme besonders günstige Stelle vorliegt. Ich gebe in Figur 219 ein Beispiel einer solchen Grundwasserkarte; sie stellt die Umgegend von Kopenhagen dar und gibt die Grundwasserlinien von 1,5 zu 1,5 m. Aus einer solchen Karte läßt sich dann für jeden einzelnen Teil des untersuchten Gebietes das Gefälle der Grundwasseroberfläche berechnen, da ja nunmehr Neigung und Entfernung bekannt sind.

Die Ermittlung des Reibungswiderstandes. Die Kenntnis des Porenvolumens und der Mächtigkeit des Wasserträgers sowie die des Gefälles genügen zwar für die Berechnung der in einem Grundwasserstrom überhaupt vorhandenen Wassermenge, aber noch nicht für die Menge, welche ein gegebenes Profil in einer gewissen Zeiteinheit durchfließt. Da aber gerade dieser Zahlenwert für viele praktische Zwecke von großer Bedeutung ist, so mögen im folgenden einige Mitteilungen darüber gegeben werden. Die Wassermenge, welche ein gegebenes Profil in einer Sekunde durchfließt, hängt naturgemäß neben dem Gefälle auch ab von dem Betrage der Reibung, welche die einzelnen Wasserteilchen im Wasserträger erleiden und diese wieder von der Größe der einzelnen Teile des Wasserträgers selbst. Es ist von vornherein klar, daß ein Gestein mit sehr großen Hohlräumen, z. B. ein sehr grober, sandfreier Schotter viel schneller von Wasser durchflossen wird als ein feiner Sand, dessen Porenvolumen vielleicht ebenso groß ist wie das des Schotters, ja, es kann sogar bei sehr geringer Größe der einzelnen Körnchen die Reibung so stark werden, daß trotz vorhandenen großen Porenvolumens die Bewegung gleich Null wird. Das ist beispielsweise der Fall bei allen tonigen Gesteinen, die zwar sehr große Wassermengen aufnehmen, aber sie wegen zu geringer Größe ihrer Poren und dadurch bedingter starker Reibung nicht weiter zu leiten vermögen.

Eine theoretische Ableitung und Berechnung der Reibung ist nur unter der Voraussetzung eines sich vollkommen gleich bleibenden Wasserträgers möglich, wenn also alle Körner des Sandes oder Kieses gleiche Gestalt und Größe besitzen. Die rechnerische Verfolgung der Wasserbewegung in einem geneigten, mit gleich großen Kugeln erfüllten Kasten lehrt uns, daß die Bewegung des Wassers in einem solchen Medium sich so vollzieht, als erfolgte sie in einem Rohre und daß die Geschwindigkeit der Bewegung nicht von der Größe des Raumes abhängt, den die Kugeln erfüllen, auch nicht von dem Gesamtquerschnitt des Grundwasserstroms, sondern nur von dem Gefälle und dem Durchmesser der Kugeln. Da nun in der Natur solche Verhältnisse nicht vorkommen, sondern vielmehr immer ein nach Gestalt und Größe ungleichmäßiges Material als Wasserträger vorliegt, so pflegt man im allgemeinen die Geschwindigkeit u des Grundwassers als $k \cdot \alpha$ zu bezeichnen, worin α den Gefällquotienten und k einen lediglich durch die Erfahrung gewonnenen oder experimentell zu gewinnenden, von der Größe der Sand- oder Kieskörner abhängigen und damit

immerfort wechselnden Koeffizienten darstellt. Diese Gleichung kommt der Wahrheit umso näher, je geringer u ist, d. h. je kleiner bei konstantem Gefälle der Wert von k, bezw. der Durchmesser der einzelnen Sandkörner ist. Die praktische Bestimmung von k erfolgt durch Benutzung des zu prüfenden Sandes als Filter (Fig. 220). In einem bei a mit Abfluß versehenen Gefäß, welches in seinem oberen Teile halbiert ist, wird in der einen Hälfte das Filtermaterial eingefüllt, welches durch ein Drahtsieb von dem darunter befindlichen Wasser getrennt wird. Fülle ich das Gefäß bis oben mit Wasser und lasse dann dieses durch a abfließen, so muß eine Druckdifferenz h nötig sein, um das über dem Filtersande stehende Wasser durch den Sand, dessen Höhe gleich l sei, hindurch zu pressen. Man kann dann setzen: $h = l \times \alpha = \frac{l \cdot u}{k}$ und $k = \frac{l \cdot u}{h}$. Die Geschwindigkeit u läßt sich in diesem Falle beobachten. Hat man nämlich das Porenvolumen des Sandes ermittelt, so ergibt sich daraus die Wasser durchlassende Fläche des Filters, die wir mit F bezeichnen. Multipliziert man diese Fläche mit der Geschwindigkeit, so folgt das pro Sekunde durchfließende Wasserquantum $Q = F \cdot u$ und man erhält durch Elimination von u aus den beiden Gleichungen: $k = \frac{l\,Q}{F\,h}$, worin alle Größen außer k bekannt sind.

Fig. 220.



Es beträgt dieser Wert k beispielsweise für einen Sand von $^1/_4$ mm Korngröße 0,00025, für einen groben Sand von 2 mm Durchmesser 0,002, und er kann in sandfreien Kiesen mit durchschnittlich 5 cm Durchmesser auf 0,05 steigen.

Hat man den Koeffizienten k bestimmt für ein Material, welches Träger eines Grundwasserstromes ist, so ergibt sich bei einem Gefälle α die Geschwindigkeit u nach der oben bereits angeführten Formel $u = k \times \alpha$ und die in einem gegebenen Querschnitt passierende Grundwassermenge $Q = F \times u$, worin F den für die Wasserpassage freien Querschnitt zwischen den einzelnen Körnern des Wasserträgers bedeutet.

B e i s p i e l. Ein Grundwasserstrom bewegt sich auf undurchlässiger Unterlage in einem Neigungsverhältnis 1 : 100, wobei $\alpha = 0{,}01$ ist, und in einem Schotter, dessen Koeffizient $k = 0{,}01$ sein soll (Kies von 1 cm Korndurchmesser). Dann ist $u = 0{,}0001$ m in der Sekunde.

Ist der Schotter 10 m mächtig und hat der Wasserträger quer zur Richtung des Wassers eine Breite von 100 m, so haben wir einen Querschnitt von

1000 m², von dem 1/5 für das Wasser offen sei, also 200 m². Dann ist die in der Sekunde abfließende, d. h. das Profil passierende Wassermenge $200 \times 0{,}0001 = 0{,}02$ m³. Einem derartigen Grundwasserstrom könnten also täglich $24 \times 60 \times 60 \times 0{,}02 = 24 \times 72 = 1728$ m³ Wasser entzogen werden.

T e m p e r a t u r d e s G r u n d w a s s e r s. Die Wärmeverhältnisse des Grundwassers, insbesondere ihre Schwankungen vermögen uns manchen wertvollen Einblick in die Schicksale und den Wert des Grundwassers zu verschaffen. Die Grundwassertemperatur ist abhängig vom Klima, von der Erdwärme, der Temperatur der Niederschläge, der Lufttemperatur und der Leitungsfähigkeit der Gesteine, und die Kenntnis aller dieser Faktoren ist für eine Würdigung der Grundwassertemperatur notwendig. Aus diesem Grunde besitzt auch eine einmalige Messung der Grundwasserwärme wenig Wert. Am besten ist es vielmehr, ein Jahr lang regelmäßige Messungen durchzuführen, und wenn es sich um das Studium der Grundwasserverhältnisse eines großen Gebietes handelt, diese nicht an einer einzigen Stelle, sondern an möglichst zahlreichen Beobachtungspunkten vorzunehmen. Die Temperaturen können dann in allen Bohrlöchern jahraus, jahrein übereinstimmen oder größere oder geringere Schwankungen zeigen und letztere können entweder nur an vereinzelten oder an allen Beobachtungspunkten wahrnehmbar werden. Als allgemeine Sätze, die sich aus den Temperaturbestimmungen ableiten lassen, führt L u e g e r folgendes an:

„Man kann nicht sagen, wie häufig geschieht, daß die Temperatur des Grundwassers mit der mittleren Lufttemperatur an einer Quelle zusammenfalle; das Jahresmittel der Temperaturbeobachtungen des Wassers an einer Quelle und das Jahresmittel der daselbst stattfindenden Lufttemperatur ist im Gegenteil selten die gleiche Ziffer. Auch ist nicht stets ein Zusammengehen beider Faktoren vorhanden, indem der mittlere Wert der Grundwassertemperatur während eines kalten Jahres manchmal höher ist als in einem warmen Jahre und umgekehrt. Zur Ermittlung von einfachen und allgemein gültigen Regeln kann man überhaupt bei der Mannigfaltigkeit der einwirkenden Faktoren nicht gelangen, es kann nur behauptet werden:

1. Erheblich höhere Mitteltemperaturen des Grundwassers einer Quelle gegen die daselbst herrschende mittlere Jahrestemperatur sind ein Anzeichen dafür, daß der unterirdische Weg der Grundwasser zunächst in größere Tiefen als 30 m und sodann erst von diesen aus wieder zur Quelle führt.

2. Große Schwankungen in der Temperatur des Grundwassers weisen auf eine geringe Tiefe des Eindringens der Infiltrationen oder auf ein rasches Durchfließen der Zwischenräume des Gebirges hin, während geringe Schwankungen annehmen lassen, daß sich das Grundwasser bereits längere Zeit in einer Tiefe aufgehalten hat, in welcher die Einwirkungen des Klimas nicht mehr von Bedeutung sind.

3. In Rücksicht auf alle, die Temperatur des Grundwassers zusammensetzenden Faktoren und die ununterbrochene Änderung in der Beschaffenheit der Mehrzahl der letzteren, kann eine absolut konstante Temperatur des Wassers an einer Quelle überhaupt nicht zu stande kommen.

In Bezug auf „Beständigkeit" der Temperatur stehen die Grundwasser, wie sie in den Alluvionen der Flußniederungen vorkommen und solange sie von dem Flußwasser selbst nicht beeinflußt werden, in erster Reihe. Dies ist umsomehr der Fall, je gleichmäßiger und feinkörniger der Grundwasserträger ist, und je weniger nicht kapillare Räume in demselben vorhanden sind."

Der Geologe kommt häufig in die Lage, den Nachweis versuchen zu müssen, daß ein an einer bestimmten Stelle *a* durchfließendes Grundwasser eine andere bestimmte Stelle *b* berührt hat und an ihr eventuell schädlich oder unangenehm wirkende Beimengungen erhält (Immissionen). Zur Lösung solcher Fragen bieten sich verschiedene Hilfsmittel, die je nach Lage der Dinge in Anwendung zu bringen sind. Den ersten Anhalt kann eine Bestimmung der gegenseitigen Höhenlage des Grundwasserspiegels gewähren. Liegt er an der verdächtigen Stelle *b* tiefer als bei *a*, so ist bei Grundwasser mit luftberührter Oberfläche die Möglichkeit ausgeschlossen, daß das Wasser von *b* nach *a* fließt, da die Bewegung natürlich in umgekehrtem Sinne erfolgen muß. Liegt er dagegen bei *a* tiefer, so kann man unter Umständen durch Benutzung einer größeren Anzahl von Brunnen oder Bohrlöchern eine Grundwassergefällkarte sich herstellen und aus dieser ablesen, ob eine Möglichkeit dafür besteht, daß das Wasser seinen Weg von *b* über *a* nimmt, oder ob die Gefällverhältnisse eine andere Ablaufrichtung von *b* aus wahrscheinlich machen. Aus einer genauen Karte einer Grundwasseroberfläche darf man die Bewegungsrichtung in der Weise ableiten, daß man annimmt, das Wasser fließe auf Linien, die die kürzeste Verbindung der aufeinander folgenden Grundwasser-Isohypsen darstellen, also normal zu diesen. Neben dieser sozusagen topographischen Methode läßt sich zur Bestimmung eines direkten Zusammenhanges eine Reihe von anderen Hilfsmitteln verwenden. Dahin gehört beispielsweise das Salzen des Wassers. Hat man sich vorher von der Chlorfreiheit überzeugt, oder die Menge des vorhandenen Chlors vorher festgestellt, so kann diese Methode ganz gute Resultate ergeben. Sehr viel Erfolg hatte man sich versprochen von der Färbung des Wassers mit intensiv färbenden organischen Farbstoffen, z. B. Uranin. Die Praxis hat aber ergeben, daß die Verwendung des Uranins sich nur da empfiehlt, wo das Grundwasser auf Gesteinsklüften oder in einem sehr grobmaschigen Wasserträger sich bewegt, während es in feinkörnigen Wasserträgern vollkommen versagt, da die Bodenteilchen in heftiger Weise das Uranin, welches zumeist als Uraninkali angewendet wird, absorbieren. In neuester Zeit ist

die Verwendung von Chlorlithium empfohlen worden; es wird weniger stark absorbiert und läßt sich noch spektroskopisch mit Sicherheit nachweisen, wenn im Liter der 7millionste Teil eines Grammes enthalten ist. Natürlich muß auch hier eine spektroskopische Untersuchung des Wassers vorausgehen, trotz der Seltenheit des Auftretens von Lithionsalzen in gewöhnlichen Gewässern. Bei der Anwendung von Farbstoffen verfährt man in der Weise, daß man an der verdächtigen Stelle ein großes Quantum gelösten Farbstoffes in das Wasser einführt und nun an der zweiten Stelle in regelmäßigen Abständen Wasserproben entnimmt und sie direkt prüft. Man macht die Farbstoffe deutlicher sichtbar, indem man das aufgefangene Wasser in hohe, rein weiße Zylindergläser einfüllt, diese auf eine weiße Unterlage stellt, und oben hineinsieht. Bei Verwendung von Uranin schüttelt man das zu untersuchende mit Salpetersäure angesäuerte Wasser mit überschüssigem Äther aus, der den Farbstoff aufnimmt, füllt den Äther mit einer Pipette ab und versetzt ihn mit einigen Tropfen Ammoniak, wodurch die grün-gelbe fluoresierende Färbung wieder sichtbar wird. In manchen Fällen läßt schon die chemische Analyse die erfolgte Immission klar erkennen, z. B. wenn es sich um die unterirdisch aus Rieselgebieten hervortretenden Wassermassen handelt, oder um stark verunreinigte Abwässer chemischer und anderer Fabriken. Ein Vergleich mit der chemischen Zusammensetzung normaler Grundwasser des betreffenden Gesteines einerseits, mit dem des Fabrik- oder Rieselwassers andrerseits, läßt sofort die hinzugekommenen Stoffe erkennen und macht das Vorhandensein einer Immission wahrscheinlich.

Handelt es sich darum, festzustellen, wie groß die Wassermenge ist, die einem Grundwasserstrom dauernd entzogen werden kann, so ist ein Probepumpen durchzuführen, bei welchem die erforderliche Wassermenge in der Zeiteinheit gefördert wird. Dabei wird der Wasserspiegel in den allermeisten Fällen sich um einen größeren oder geringeren Betrag senken. Mit dem Probepumpen ist so lange fortzufahren, bis die weitere Absenkung des Wasserspiegels aufhört, bis also die bleibende Absenkung erreicht wird. Je schneller nach dem Aufhören des Probepumpens der vor dessen Beginn vorhandene Wasserspiegel sich wieder einstellt, umso größer muß natürlich die Durchlässigkeit des Wasserträgers sein, umso günstiger also sind die Aussichten für eine dauernde Ausgiebigkeit des Grundwasserstromes.

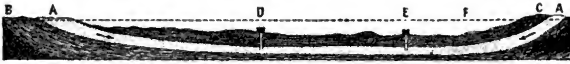
Artesisches Wasser.

Die Umwandlung von gewöhnlichem Grundwasser in artesisches Wasser ist ganz und gar bedingt durch die geologisch-tektonischen Verhältnisse des Gebietes, in welchem das Wasser sich bewegt.

Die einfachste und in Lehrbüchern beliebteste Form der Darstellung der Lagerungsverhältnisse dieser artesischen Wasserträger ist die in dem

folgenden Idealquerschnitt (Fig. 221) gegebene Lagerungsform der Mulde. Wir sehen in *A* eine muldenförmig gelagerte, durchlässige Schicht (in dieser wie in den folgenden Abbildungen punktiert), die nach oben und nach unten von den undurchlässigen Bildungen *C* und *B* begrenzt wird. Die auf *A* niederfallenden atmosphärischen Wasser sinken in der durch die Pfeile

Fig. 221.



A durchlässige } Schichten.
B und *C* undurchlässige }
D und *E* Bohrlöcher.
F Steighöhe des Wassers.

bezeichneten Richtung in die Tiefe, sammeln sich im tiefsten Teile der Mulde an, ihre Oberfläche steigt allmählich höher und höher empor und mit der Zeit kommt es zu einer vollkommenen Sättigung der betreffenden Schicht. Ein im Innern der Mulde niedergebrachtes Bohrloch (*D* und *E*) würde nach Durchstoßung der undurchlässigen Schicht *C* den Wasserträger erreichen, und das Wasser muß, da der Ansatzpunkt des Bohrloches tiefer liegt als die Infiltrationsgebiete bei *A*, über der Oberfläche zu Tage treten.

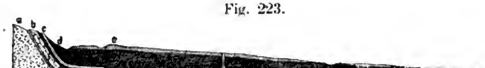
Eine sehr weit verbreitete Lagerungsform der Gesteine, durch welche artesisches Wasser Gebieten von Hunderten von Quadratmeilen Größe

Fig. 222.



zugeführt werden kann, ist die sogenannte Flexur. Wie Figur 222 zeigt, bestehen ihre wesentlichen Eigenschaften darin, daß annähernd horizontal gelagerte oder nur schwach geneigte Schichtengruppen plötzlich sich mehr oder weniger steil emporrichten, um, nachdem sie um einen oftmals recht

Fig. 223.



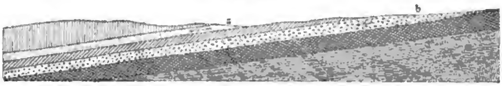
a, *b*, *d*, *e* undurchlässige Schichten, *c* wasserführende durchlässige Schicht.

bedeutenden Betrag in die Höhe gestiegen sind, wieder in die ungestörte Lagerungsform zurückzukehren. Es ist nun eine sehr häufige Erscheinung, daß eine solche Flexur nicht so vollständig ungestört liegt, wie unsere schematische Figur 222 dies zeigt, sondern daß in dem Gebiete der intensiven Aufrichtung, die uns als Gebirge entgegentritt, durch die Erosion

der Zusammenhang der Schichten unterbrochen worden ist, so daß die an der Aufbiegung beteiligten Schichtenglieder hier in mehr oder weniger großen Flächen zu Tage ausstreichen, wie Figur 223 dies darstellt. Nun brauchen nur in einem solchen aufgerichteten Schichtenkomplexe durchlässige mit undurchlässigen Schichten zu wechseln, um die Vorbedingung für die Schaffung eines artesischen Wasserhorizontes zu erfüllen.

Selbst die Aufbiegung der Schichten in der Flexur aber ist entbehrlich für die Schaffung unterirdischer Druckwasser, da selbst die einfache Lage-

Fig. 224.



a und *b* durchlässige Schichten.

rungsform schwach geneigter konkordanter Schichten alle Vorbedingungen zu erfüllen vermag. Wenn wir annehmen, daß, wie die Figur 224 es zeigt, in einem Gebiete die Oberfläche nach irgend einer Richtung hin eine etwas schwächere Neigung besitzt als die unter ihr lagernden, an sich auch nur wenig geneigten Schichten, und wenn unter diesen Schichten sich erhebliche Differenzen in der Durchlässigkeit zeigen, so kann artesisches Wasser erzeugt werden. In unserem Falle würden die durchlässigen Schichten *a* und *b*, welche zwischen undurchlässigen Bildungen lagern, da, wo sie zu Tage ausstreichen, das Wasser in sich aufnehmen und es in der Richtung der flach geneigten Tafel in die Tiefe führen, aus der es durch Bohrung allerwärts wieder an die Oberfläche gefördert werden könnte.

Um die Frage zu lösen, ob in einem Gebiete die Erbohrung artesischen Wassers möglich ist, ist also eine sorgfältige Prüfung des geologischen Baues der weiteren Umgebung erforderlich. In gut aufgeschlossenen Gebieten, in denen zahlreiche Täler eingeschnitten sind, oder wo aus besonderen Gründen viele Bohrungen niedergebracht sind, wird man sich unschwer ein Bild von dem geologischen Bau machen können. Kennt man außerdem den petrographischen Charakter der Gesteine, welche am Aufbau der einzelnen Formationen beteiligt sind, weiß man, wie groß ihre Wasseraufnahmefähigkeit und Leitungsfähigkeit ist, weiß man, daß solche Gesteine über- oder unterlagert sind von wenig oder gar nicht durchlässigen Bildungen, so wird man nicht nur die Möglichkeit der Erschließung artesischen Wassers angeben können, sondern man wird unter günstigen Umständen auch die Tiefen bezeichnen können, bis zu welchen Bohrlöcher herniedergebracht werden müssen. Sind in einem Gebiete bereits eine Anzahl von artesischen Bohrungen vorhanden, so kann man durch die

Ermittlung der Steighöhe des Wassers in den einzelnen Bohrungen (durch direkte Messungen oder durch Aufsetzung von Manometern) und durch Eintragung der so erhaltenen Zahlenwerte in eine Karte, sich ein Bild über Richtung, Verlauf und Gefälle des artesischen Grundwasserstromes machen und danach seine Maßnahmen treffen.

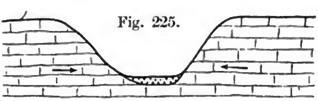
Kapitel 51.

Aufsuchung von Quellen.

1. Sehr viele Quellen entstehen dadurch, daß ein Grundwasserstrom mit seiner Oberkante die Terrainoberfläche erreicht oder berührt. Der über dem Schnittpunkte liegende Teil des Grundwassers muß dann als Quelle zu Tage treten. Außer der Terrainform kann aber auch ein Wechsel in der Gesteinsbeschaffenheit dem gleichmäßigen Weiterfließen des Grundwassers ein Hindernis in den Weg stellen, dasselbe aufstauen und zum Überfließen bringen. Im ersteren Falle treten die Quellen dann vorzugsweise an denjenigen Punkten des Talgehänges auf, an denen die Höhenlinien dem Tale die konkave Seite zukehren, also im Innern flacherer oder tieferer Einbuchtungen des Gehänges. An solchen Stellen strömen die dem Haupttale zufließenden Grundwasser gegeneinander, finden in den erwähnten Terraineinbiegungen den für ihre Weiterbewegung erforderlichen Wasserquerschnitt nicht mehr und müssen deshalb zu Tage treten.

2. Im geschichteten Gebirge sind die Schichtfugen und die in der Schichtungsebene lagernden, leicht durchlässigen Bildungen im Allgemeinen die Flächen des geringsten Widerstandes gegen das Weiterfließen des infiltrierten Wassers. Wird also ein geneigtes Schichtensystem von der Terrainoberfläche geschnitten, so hat man Quellen zu erwarten, wenn die Schichten gegen den Terraineinschnitt geneigt sind. Bei Tälern im geschichteten Gesteine sind also vier Fälle zu unterscheiden.

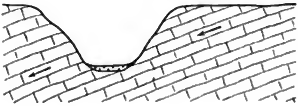
Fig. 225.



a) Das Tal ist in horizontale Schichten eingeschnitten (Fig. 225). Sind in dem Schichtenkomplexe undurchlässige Gesteine enthalten, so wird oberhalb derselben der Austritt zahlreicher kleinerer Quellen zu erwarten sein.

b) Das Tal ist in einseitig geneigte Schichten eingeschnitten (Fig. 226). Dann wird die Seite, von welcher die Schichten abfallen, quellenfrei sein, diejenige, nach der sie zerfallen, umso reicher daran, je flacher die Neigung

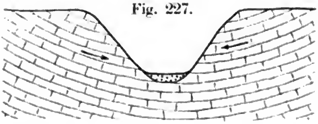
Fig. 226.



der Schichten und je größer das dadurch der Infiltration dienstbar gemachte Gebiet ist.

c) Das Tal ist in eine Schichtenmulde eingeschnitten (Synklinaltal [Fig. 227]). In diesem Falle sind beide Talgehänge in gleich günstiger,

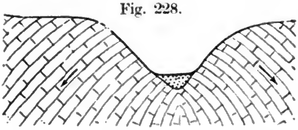
Fig. 227.



in Bezug auf Quellen hoffnungsreicher Lage, wie das rechte Talgehänge im Falle *b* (Fig. 226).

d) Das Tal ist in einen Schichtensattel eingeschnitten (Antiklinaltal [Fig. 228]). Die Hoffnung auf das Auffinden von Quellen ist in diesem Falle ebenso gering, wie auf der linken Talseite im Falle b. In einem solchen

Fig. 228.



Tale sind höchstens noch in dem seinen Grund meist erfüllenden zertrümmerten Gestein gewisse Grundwassermengen zu finden.

In den Fällen a—c wirkt eine mehr oder weniger vertikale Zerklüftung des Gesteines durch die dadurch bedingte erhöhte Fähigkeit des Gesteinskomplexes für Wasseraufnahme gewöhnlich günstig auf die Wassermenge der austretenden Quellen ein.

3. Wenn zerklüftete oder nach ihrer petrographischen Beschaffenheit durchlässige Gesteine von einem Mantel weniger oder gar nicht durchlässiger Gesteine umhüllt werden, z. B. von einer Lehm- oder Lößdecke, so vermag die letztere, wenn sie einige Mächtigkeit besitzt, die Grundwassermengen im durchlässigen Gebirge zurückzuhalten und aufzustauen. Sie werden dann überall da als Quellen zu Tage treten, wo die Erosion den undurchlässigen Mantel entweder ganz wieder entfernt oder doch stark verdünnt und weniger widerstandsfähig gemacht hat.

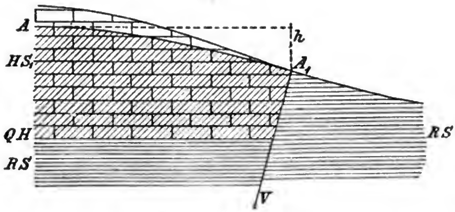
4. Ausgedehnte Spaltenbildung im festen Gesteine bietet den eingesunkenen Wassern leichte Zirkulationswege, selbst in den Fällen, in denen nachträglich eine gewisse Ausfüllung der Spalte stattgefunden hat. Letztere kann entweder durch Eruptivgesteine auf feurig-flüssigem Wege oder durch Erze und andere Mineralien auf wäßrigem Wege geschehen sein. In beiden Fällen bleibt aber dem von der Spalte durchsetzten Gestein eine von der Zerreißung herrührende Zerklüftung beiderseits der Spalte und eine dadurch bedingte Durchlässigkeit für das Wasser. Dieses wählt deshalb mit Vorliebe diese Spalten als Weg und findet sich auf ihnen in reichlicher Menge. Der Bergbau hat in allen möglichen Tiefen einen harten Kampf mit den auf den Erzgängen zirkulierenden Wassern zu führen, und das Ausstreichen der Erzgänge, die Linie, in der sie zu Tage ausgehen, ist in sehr vielen Fällen von reihenweise angeordneten Quellen begleitet. Dasselbe ist der Fall, wenn Gänge oder stockförmige Massen von Eruptivgesteinen in nicht allzu durchlässigen Gesteinen auftreten (Diabasgänge im Schiefer, Granit- und Porphyrgänge im Gneis, Basaltgänge im Jurakalke der Schwäbischen Alb). Man wird also bei der Aufsuchung von Quellen das Auftreten und den Verlauf etwa bereits bekannter Erz- oder Mineralgänge, sowie solcher von Eruptivgesteinen genau zu beachten haben.

5. Von außerordentlicher Bedeutung für die unterirdische Hydrographie eines Gebietes sind diejenigen Spalten, entlang denen Verschiebungen der einzelnen Teile der Erdrinde stattgehabt haben, die sogenannten Verwerfungen. Sie sind in vielen Fällen, wie die unter 4 behandelten gewöhnlichen Spalten, nachträglich wieder ausgefüllt, meist aber enthalten sie nur lockere Fragmente des durchsetzten Gesteins oder stellen nur eine mit glattgeschliffenen Wänden (Harnischen) versehene Trennungsfuge dar. In fast allen Fällen aber pflegen die Verwerfungsspalten von reichlichen Wassermengen erfüllt zu sein und zwar umsomehr, wenn die Verwerfungsspalte durchlässige gegen undurchlässige Gesteine abschneidet (Fig. 229 u. 230). Hat man die Aufgabe, in geognostisch durchforschtem Gebiete Quellen aufzusuchen, so wird man dem etwaigen Auftreten größerer Verwerfungen in erster Linie Aufmerksamkeit zu schenken haben; in dem 22. Kapitel

ist über die Aufsuchung und Verfolgung von Verwerfungen das Erforderliche mitgeteilt.

6. Stoßen stark zerklüftete und infolgedessen zur Wasseraufnahme sehr geeignete Eruptivgesteinsstöcke gegen schwer durchlässige, geschichtete Gesteine (z. B. Tonschiefer), so setzen diese der Bewegung des Grund-

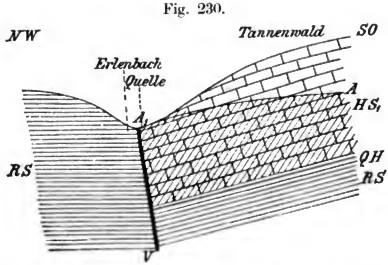
Fig. 229.



wassers einen starken Widerstand entgegen, stauen es auf und erzeugen sogenannte Überfallquellen (Fig. 231). Die Grenze solcher Stöcke ist also sorgsam zu untersuchen.

7. Liegen über festen, minder durchlässigen Gesteinen größere Anhäufungen groben Trümmergesteins, welches dem Wasser ein leichtes Ein-

Fig. 230.

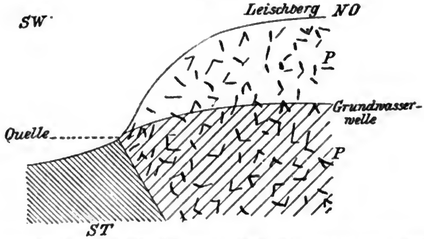


Buchstabenerklärung zu den Figuren 229 und 230.
QH = Quellenhorizont und Grenze zwischem unterem Hauptbuntsandstein (HS_1), und Röthelschiefer (*RS*). — AA_1 Grundwasserquelle. — VA_1 Verwerfung. (Nach A. Leppla.)

dringen in die Tiefe gestattet, so bildet sich auf der Oberfläche des unzersetzten Gesteins eine Grundwasseransammlung, die nun je nach der Form und Neigung der Unterlage sich als Grundwasserbecken aufstauen oder als Grundwasserstrom abfließen wird. In beiden Fällen hat man Aussicht, da, wo unter dem Trümmerwerk das unverwitterte Gestein ansteht,

Quellen zu finden. Als Beispiel seien ausgedehnte Bergsturzhalden angeführt, an deren Fuße, wenn sie auf tonigem oder überhaupt schwer durchlässigem Untergrunde auflagern, nicht selten Quellen austreten, sowie die aus der Verwitterung des Granits hervorgehenden Felsenmeere (Brocken,

Fig. 231.

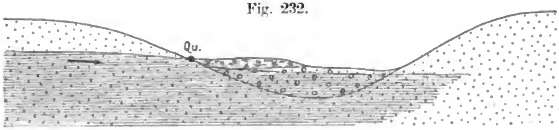


ST = Schiefertone der Tholeyer Schichten, gegen den Felsitporphyr P einfallend. (Nach A. Leppla.)

Fichtelgebirge), deren Wasserabflüsse Ursache ausgedehnter Torfbildung geworden sind.

8. Ganz besondere Beachtung hat man dem Auftreten der sogenannten Gehängemoore zu schenken. Man versteht darunter Moore, die an Abhängen in der Weise auftreten, daß, wie der folgende Querschnitt (Fig. 232)

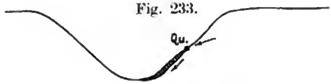
Fig. 232.



durch ein solches Gehängemoor zeigt, die hintere Seite des Moores sich flach an das Gehänge anlegt, während die vordere Seite gewöhnlich ziemlich steil abfällt. Diese Gehängemoore verdanken ihre Entstehung dem Austritte eines Grundwasserstromes und sind typische Quellenmoore. An ihrem hinteren Rande wird man bei Schürfungen gewöhnlich kräftige Quellen finden, die dem vorderen Teile des Moores als Bäche entströmen. Ein solcher auf eine Linie von 40 km Länge ausgedehnter Quellenzug wird beispielsweise am Nordrande des Fläming zwischen Burg und Görzke durch eine Reihe von Gehängemooren angedeutet, und es ist durch eine Anzahl von Bohrungen ein mächtiger, diese Quellen speisender Grundwasserstrom nachgewiesen worden.

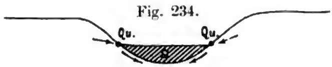
9. Wenn mit kohlensaurem Kalk und Eisenoxydul beladene Quellen in raschem Laufe einen Abhang hinabstürzen und dabei tüchtig mit der atmosphärischen Luft in Berührung kommen, so verlieren sie einen Teil ihrer Kohlensäure und damit die Fähigkeit, die genannten Salze in Lösung zu halten. Diese werden abgeschieden, inkrustieren die überrieselten Pflanzen und bilden mit der Zeit einen porösen, zelligen, lockeren, an der Luft erhärtenden Kalkstein, den man mit dem Namen Kalktuff bezeichnet. Wo man dieses Gebilde antrifft, kann man mit Sicherheit auf die Anwesenheit von Quellen schließen oder, wenn sie heute die Tagesoberfläche nicht mehr erreichen sollten, wenigstens auf einen in geringer Tiefe auftretenden Grundwasserstrom, dem diese Quellen ihr Dasein verdanken. Heute treten die Quellen gewöhnlich am untersten Rande der Kalktuff-

Fig. 233.



ablagerung zu Tage, oder sie haben sich Erosionsrinnen im Kalktuff eingeschnitten; ihre eigentliche Austrittsstelle aber liegt höher, nämlich ungefähr mit den höchsten Punkten des Kalklagers in einem Niveau. Ist die Tuffablagerung auf das eine Gehänge eines Tales beschränkt, so wird man den Quellenaustritt gewöhnlich leicht wahrnehmen (Fig. 233). Sind aber beide Gehänge quellenreich und tuffbildend, so können die beiderseitigen Tufflager in der Talmitte sich vereinigen und dieses schließlich

Fig. 234.



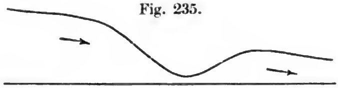
horizontal erfüllen. Dann hat man Aussicht, eine sehr starke, durch Zusammenfluß entstandene Quelle anzutreffen, wenn man in der Mitte des Tales durch das Tufflager auf den Talboden geht (Fig. 234).

10. Im nördlichen Deutschland ist die obere Grenze des unteren Geschiebemergels ein sehr weit verbreitetes Quellenniveau. Sucht man Quellen in einem Gebiete, von welchem bereits geologische Spezialkarten vorliegen, so wird man sich zunächst aus ihnen vergewissern, ob an Gehängen diese Bildung so auftritt, daß über ihr durchlässige Sande und Kiese in größerer Mächtigkeit und in solcher Verbreitung und Schichtenneigung auftreten, daß ein größeres Infiltrationsgebiet das Grundwasser auf der Oberfläche des unteren Geschiebemergels nach den Stellen abfließen lassen muß, an denen die genannte Bildung zu Tage tritt. Hat man keine Karten,

so wird man zunächst durch Aufschlüsse und Bohrungen sich ein Übersichtsbild des geognostischen Baues nach den angegebenen Methoden verschaffen und danach weiter operieren.

11. Ist ein Tal in eine geneigte Hochfläche nicht in der Richtung ihres Gefälles eingeschnitten, sondern rechtwinklig dazu (Fig. 235), so wird man die größere Hoffnung auf Auffindung von Quellen auf derjenigen Talseite haben, die unter dem Anstieg der Hochfläche liegt, da diese ein bedeutend größeres topographisches Infiltrationsgebiet besitzt, als die andere Seite.

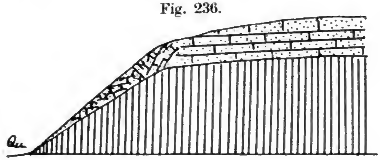
Fig. 235.



Dieser Fall ist bei den ostwestlich verlaufenden Tälern nördlich vom baltischen Höhenrücken in Pommern und Westpreußen zu beobachten, findet aber gewiß auch auf andere Teile Norddeutschlands Anwendung.

12. Liegen zwei Formationen übereinander, von denen die obere weich und zerklüftet, die untere hart und wenig wasserdurchlässig ist, so treten an der Grenze beider meist viele kleine, oder an den Stellen, an welchen das Terrain Einbuchtungen besitzt, ziemlich mächtige Quellen aus. Manchmal ist die eigentliche Austrittsstelle verdeckt durch Blockhalden und die Quelle kommt erst weiter unten bei *Qu* zu Tage (Fig. 236). Hat man er-

Fig. 236.



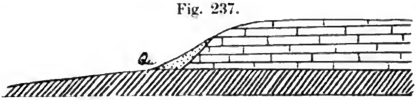
kannt, daß eine solche geognostische Grenze vorliegt, so muß beim Aufsuchen der Quellen diejenige Stelle der Blockhalde aufgesucht werden, an welcher die Blöcke des unterlagernden Gesteins die höchste absolute Lage einnehmen. Diese müssen naturgemäß dem Quellenaustritt am nächsten liegen.

Während in dem eben gedachten Falle im allgemeinen der untere Hang des Gebirges meist stärker fällt, als der obere, ist es umgekehrt, wenn das weichere Gestein die undurchlässige untere, das härtere die zerklüftete auflagernde Gebirgsart ist. In diesem Falle ist die steilere Böschung stets oben, die flachere unten, und meistens eine so deutliche Charakteristik

durch den stumpfen Winkel der Oberfläche ausgeprägt, daß es nicht schwer hält, die bei *Qu* austretenden Quellen zu finden (Fig. 237).

Besonders schön kann man derartige Quellenerscheinungen an den Abhängen des Schwarzwaldes und der Vogesen gegen das Rheintal sehen, wo der Buntsandstein teilweise dem Granit, teilweise kristallinischen Schiefern u. s. w. aufgelagert ist; überall an der Schichtengrenze zwischen beiden

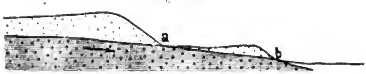
Fig. 237.



Gesteinen treten Quellen aus und zwar teilweise sehr mächtige. Hier liegt fast immer der in Figur 236 gekennzeichnete Fall vor, da die Böschung des unterliegenden Gebirges meist steiler ist, als die Oberflächenneigung der Sandsteingebilde. Den in Figur 237 bezeichneten Fall trifft man häufig im Jura, besonders dort, wo mächtige Tone oder Mergel unter den klüftigen Kalksteinen liegen. Auch hier ergeben sich meist sehr schöne Quellen. Auch in den Kalksteinen der alpinen Trias sammeln sich oft große Infiltrationen über undurchlässigen Schichten und treten an der Gesteinscheide aus. Zu den bekanntesten Beispielen dieser Art gehören die über den „Werfener Schiefern" auftretenden Quellen der Wiener Hochquellenleitung. Die zur teilweisen Wasserversorgung von Paris dienenden Quellen der Dhuis entspringen in ähnlicher Weise auf der Grenze zwischen dem undurchlässigen, aus Mergeln bestehenden Unteroligozän und den zerklüfteten, durchlässigen, mitteloligozänen Sandsteinen und Kalken des Pariser Beckens.

13. Wenn in einem breiten Tale sich zwei oder mehr übereinander liegende Terrassen finden, so sind sie, da sie gewöhnlich aus ganz durchlässigen Schichten aufgebaut sind, in den weitaus meisten Fällen Träger einer Grundwasserwelle, die zum Flusse als ihrem natürlichen Rezi-

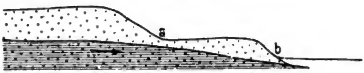
Fig. 238.



pienten entwässert. Wenn diese Grundwasserwelle an einer Stelle, die dann meist am Fuße des Abfalles der einen Terrasse zur anderen liegen wird, mit der Terrainoberfläche zum Schnitt gelangt, so werden an dieser Stelle ständige oder intermittierende Quellen auftreten, letzteres in dem Falle, daß nur ein Hochstand des Grundwassers den angenommenen Schnitt ermöglicht. Der Querschnitt (Fig. 238) durch den Nordabhang

des Radüetales in Pommern mag diese Verhältnisse illustrieren. Die am Fuße der oberen Terrasse bei *a* auftretende Quellenlinie hat zunächst Veranlassung zur Bildung kleiner Gehängemoore gegeben. Die abfließenden Bäche haben, wenn wasserreich, sich ihre Betten in der tieferen Terrasse bis auf und unter die Grundwasserwelle eingeschnitten; wenn wasserarm oder mit geringem Gefälle ausgestattet, wie in der Figur 239 angenommen,

Fig. 239.



versinken sie im durchlässigen Boden und treten erst unterhalb der unteren Terrasse bei *b* als unmittelbare Grundwasserzuflüsse des Stromes wieder zu Tage.

14. Wenn man die in einem Gebiete auftretenden Wasserläufe, die in ihm oder in seiner Nähe ihren Ursprung nehmen, bis zu diesem Ursprunge verfolgt, so erhält man in der Regel aus der Art des Auftretens dieser Quellen einige Hinweise auf die Art der Bewegungen des Grundwassers und auf die Gesetze, an die in einem bestimmten Gebiete das Auftreten der Quellen gebunden ist. Ein bloßes Kartenstudium, wie es für die Frage der Aufsuchung von Wasser wohl bisweilen obenan gestellt wird, ist von untergeordnetem Werte, da selbst in unseren besten, neuesten Meßtischblättern die in einem Gebiete auftretenden Quellen in so lückenhafter Weise eingetragen sind, daß bei der hohen, auch militärischen Bedeutung ihres Vorkommens dieser Mangel aufs äußerste zu beklagen ist.

Über die rein technische Frage der Beurteilung der Ergiebigkeit einer Quelle schreibt L u e g e r (l. c. S. 261): Die größte Vorsicht ist hinsichtlich Beurteilung der Wassermenge einer Quelle erforderlich, wenn sie zu Zwecken einer Wasserversorgung benutzt werden soll. Die Wassermenge ist durch Messung zu ermitteln (s. S. 260); dabei ist vor allem zu beachten, daß der Spiegel der Quelle weder gehoben noch gesenkt werde. Hebt man den Wasserspiegel, so gerät man in Gefahr, Ausflüsse zu veranlassen, aus welchen die Quelle sonst kein Wasser ergießt; dieses Wasser geht verloren. Senkt man den Spiegel, so verändert man die Lage der Grundwasserwelle im Gebirge, und das momentan erreichte Mehrquantum hat dann in trockenen Zeiten ein relativ kleineres Ergebnis im Gefolge. Da das Minimum einer Quelle maßgebend für die Entscheidung wird, ob sie zu dem Zwecke, für welchen man sie braucht, dienlich ist, so sind die Messungen so lange fortzusetzen, bis wenigstens einmal eine Trockenperiode

in dieselben einbezogen werden kann. Auch nach längeren Trockenperioden sollte das Ergebnis noch größer sein, als der Bedarf, da die Fassungsarbeiten das Ergebnis fast ausnahmslos ungünstig beeinflussen. Eine völlige Sicherheit, daß die Quelle allezeit ausreichen werde, ist niemals geboten.

III. Die Wasseruntersuchung.

Kapitel 52.

Methoden der Probeentnahme.

Die Probeentnahme[1]). Allgemeine Regeln. Für die maßgebende Beurteilung eines Wassers ist vor allem die Erzielung einer Durchschnittsprobe erforderlich, welche zufällige Verunreinigungen, und namentlich solche, welche durch die Art der Entnahme bedingt sein können, ausschließt. Die zu treffenden Maßnahmen werden nach der Örtlichkeit und insbesondere nach der Zugänglichkeit des Wassers einzurichten sein.

Die einfachste Art der Beschaffung eines Wassers zu Genuß- und Gebrauchszwecken ist die Benutzung einer Quelle, d. h. desjenigen Grundwassers, welches auf natürlichem Wege zu Tage tritt. In diesen Fällen kann die von Natur aus vorhandene Austrittstelle erhalten sein, oder sie ist durch Einfassung (Ummauerung u. dgl.) zu einem größeren Behälter umgestaltet, oder das Wasser ist durch Einlegung eines Rohres oder einer Rinne zum Ausfluß an einem bestimmten Punkte gezwungen. Bei den erstgenannten Formen von Quellen wird zu berücksichtigen sein, daß man sowohl Verunreinigungen, welche die Oberfläche des Wassers bedecken, wie schwimmende Teile von Blättern, Pollenkörner, Algen, Staub, vermeidet, als auch ein Aufrühren des Schlammes, der durch Ablagerungen organischer oder anorganischer Natur gebildet ist, tunlichst verhütet. Das Vorhandensein eines Ausflußrohres schließt solche Befürchtungen (namentlich hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit des Wassers) nicht immer vollständig aus; jedoch ist die direkte Füllung des Entnahmegefäßes zulässig, da man hierdurch gewiß eine Probe des Wassers erlangen wird, wie solches zur Verwendung kommt.

Sobald das Grundwasser nicht freiwillig zu Tage tritt, sondern erst durch Pumpvorrichtungen gehoben werden muß, ist ein 10 Minuten langes Abpumpen der Entnahme vorauszuschicken, um das in den Röhren stagnierende Wasser zu beseitigen und deren Spülung zu bewerkstelligen.

---

[1]) Ohlmüller, Die Untersuchung des Wassers, Berlin 1894, S. 5—14.

In gleicher Weise wird man auch das Wasser, welches mittels eines Rohrnetzes zur Benutzung übergeben wird, sei es, daß es aus einer Quelle kommt oder als Oberflächenwasser durch Reinigungsvorrichtungen zum Gebrauche geeignet gemacht worden ist, immer nur an einer vielgebrauchten Zapfstelle entnehmen, nachdem man mindestens 10 Minuten lang mit größtmöglicher Geschwindigkeit hat ablaufen lassen.

Besondere Vorsichtsmaßregeln erfordert die Entnahme aus Flüssen, Teichen und Seen. Wie bei der offenen Quelle wird man Annäherung an die Oberfläche oder den Grund vermeiden. Es mag die Frage auftreten: soll man seichte oder tiefe Stellen wählen oder soll man den Mittelweg beschreiten, soll man sich an die Mitte oder den Rand des Gewässers halten? Hier bieten sich aus den verschiedensten Ursachen unüberwindliche Schwierigkeiten für die Erzielung einer Durchschnittsprobe, so daß man zur Entnahme mehrerer, oft sogar vieler Proben genötigt sein wird. Jedenfalls wird man immer die Untersuchung auf Stellen oberhalb und unterhalb der vermuteten Verunreinigungen ausdehnen, um zu verwertbaren Vergleichszahlen zu gelangen.

Bei Gewässern ohne oder mit nur geringer Bewegung, welche eine Beimengung salzhaltigen Wassers vermuten lassen, wird man nicht nur an den seichten, sondern auch an den tiefen Stellen, und an letzteren stets auch vom Grunde Proben schöpfen, da diese Verunreinigung infolge ihres höheren spezifischen Gewichtes das Bestreben hat, tiefer gelegene Stellen aufzusuchen. Die Diffusion kann diese Erscheinung nicht immer vollständig ausgleichen; sie bleibt manchmal sogar bei relativ starker Strömung noch auf verhältnismäßig langen Strecken des Wasserlaufes bestehen. Nur bei kleineren Flüssen mit vielen starken Krümmungen und Serpentinen ohne beträchtliche Tiefenunterschiede pflegt sich in kurzer Zeit ein Ausgleich in der chemischen Zusammensetzung der gesamten Wassermenge einzustellen. Zu große Annäherung an den Uferrand ist zu widerraten, falls sie nicht aus besonderen Gründen erwünscht erscheint.

Für die Beurteilung der Verunreinigung solcher Wasserflächen ist es oft zweckdienlich, die Beschaffenheit des Grundes kennen zu lernen, um aus der Menge und Beschaffenheit der Sinkstoffe, welche sich abgelagert haben, Schlüsse zu ziehen.

Für die Entnahme von Wasserproben aus Bohrlöchern ist von L e p s i u s ein sehr zweckmäßiger Apparat (Fig. 240) angegeben worden. Ein Gestelle trägt ein becherglasähnliches Gefäß *B* und einen nach unten gerichteten Glaskolben *A*. In die Mündung des letzteren sind zwei Glasrohre eingefügt, von welchen das eine, beiderseits offene *a* nach oben umgebogen, das andere *b* unten zu einer Kapillare ausgezogen und abgeschmolzen ist. Der Kolben und das erstere Glasrohr werden vollständig mit Quecksilber gefüllt und die Kapillare des anderen Rohres mit einer Leine *c* ver-

sehen. So hergerichtet versenkt man das Instrument mittelst eines tragfähigen Drahtseiles in die gewünschte Tiefe und bricht die Kapillare durch Ziehen an der Leine ab. Das Quecksilber ergießt sich hierauf in das untere Gefäß und saugt durch das aufwärts gerichtete Rohr Wasser in den Kolben nach. Hat man die Wasserprobe zu Tage gefördert, so wird man sie selbst-

Fig. 240.

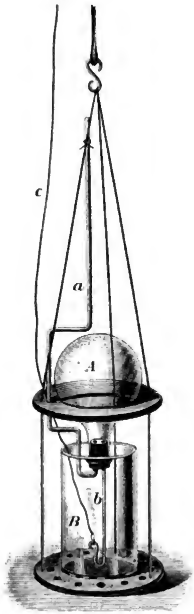
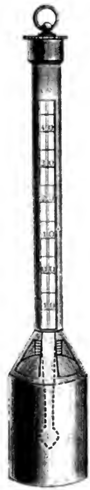


Fig. 241.



verständlich für den Transport in eine andere Flasche umfüllen und das Instrument für eine weitere Entnahme in entsprechender Weise herrichten.

A u s f ü h r u n g d e r P r o b e e n t n a h m e. Am zweckmäßigsten füllt man die Wasserprobe in eine Glasflasche mit eingeriebenem Glasstöpsel, welcher während des Transportes mit einer Gummikappe überzogen wird. Diese Gefäße sind solchen aus Steingut oder Ton gefertigten immer vorzuziehen, weil man sich bei ihrer Durchsichtigkeit von der Reinheit der inneren Oberfläche jederzeit überzeugen kann. Vor dem Gebrauch

ist eine solche Flasche mittels gewöhnlichen Wassers, nach Umständen unter Zusatz von Schwefelsäure vollkommen zu reinigen und hierauf mit destilliertem Wasser so lange nachzuspülen, bis man überzeugt ist, daß jede Spur des Reinigungsmittels (namentlich der Säure) beseitigt ist.

Man kann hierauf die offenen Flaschen zum Trocknen umgekehrt hinstellen und dies durch Einlage eines zusammengelegten Streifens Filtrierpapier beschleunigen, welchen man in den Hals hineinsteckt und über ihn hervorragen läßt. Die endgültige Füllung mit dem zu prüfenden Wasser darf erst erfolgen, nachdem man das Gefäß mehrmals unter kräftigem Umschütteln mit ihm ausgespült hat.

Die Menge des zu entnehmenden Wassers. Bestimmte Vorschriften über die Menge des zu entnehmenden Wassers zu geben ist schwierig, da es einerseits von der Gewandtheit des Einzelnen abhängt, die Reihenfolge der nötigen Bestimmungen praktisch zu gruppieren, und es anderseits nur in seltenen Fällen erforderlich sein wird, die Untersuchung auf alle allenfalls möglichen Bestandteile des Wassers auszudehnen. Durchschnittlich wird eine Probe von ungefähr 2 Litern genügen; jedoch kann ein Zuviel hier nie schaden, zumal ein Mißlingen der einen oder anderen Analyse eine Lücke im Gesamtergebnis im Gefolge haben kann, welche wegen Mangels des gleichen Untersuchungsmateriales nicht mehr auszufüllen ist.

Die Temperatur der Probe. Gleichzeitig mit der Entnahme ist die Prüfung der Temperatur des Wassers auszuführen, da diese sofortigen Veränderungen ausgesetzt ist. Pettenkofer hat für diesen Zweck ein Thermometer (Schöpfthermometer, Fig. 241) angegeben, dessen Kugel mit einem oben offenen Gefäß umschlossen ist. Letzteres füllt sich beim Einsenken mit Wasser, wodurch Bewegungen des Quecksilberfadens durch äußere Einflüsse bis zum Augenblick des Ablesens tunlichst beseitigt werden. Das Thermometer wird an einer eingeteilten Leine bis zur beabsichtigten Entnahmetiefe herabgelassen. Das hierbei in das umschließende Gefäß eingetretene Wasser wird durch mehrmals ausgeführtes, ruckweises Anziehen durch das zu prüfende Wasser ersetzt. Nach mehreren Minuten darf man annehmen, daß sich das Thermometer auf die Temperatur der jeweiligen Wasserschicht eingestellt hat; hierauf wird es rasch herausgezogen und abgelesen. Selbstverständlich muß das Thermometer in gewissen Zeitabständen auf seine Richtigkeit geprüft und demgemäß mit Korrektion versehen werden.

Vorläufige Prüfung durch Gesicht, Geschmack, Geruch und Reaktion. Es ist von Vorteil, bei der entnommenen Probe die Beobachtungen gleich zu verzeichnen, welche durch die eben bezeichneten Sinnesorgane gemacht werden können; sind die Ergebnisse

dieser Prüfung auch nicht maßgebend, so bieten sie doch oft einen Behelf für die nachträglich auszuführende physikalische und chemische Untersuchung. Man wird sich von der Färbung des Wassers überzeugen und zu beurteilen versuchen, ob etwaige Trübungen durch größere oder feinere schwimmende Bestandteile verursacht sind. Das Aussehen des Wassers rechtfertigt manchmal eine vermutete Verunreinigung und der Geschmack und Geruch sind oft geradezu leitend für die weitere Wahl des Entnahmeortes. In gleichem Sinne muß eine Vorprüfung der chemischen Reaktion durch empfindliches Lackmuspapier aufgefaßt werden.

Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse. Um die Ursachen und Wege der Verunreinigung von Wässern zu erforschen, muß der Probeentnahme eine sorgfältige Prüfung der Umgebung vorausgeschickt werden. In dieser Hinsicht kommen in Betracht die Nachbarschaft von Ortschaften und deren Einrichtungen zur Entfernung der Abfallstoffe und Fäkalien, sodann Fabriken und deren Beseitigung der Abwässer, und Bergwerke hinsichtlich der Beschaffenheit ihrer Stollenwässer. Der Inhalt einer durchlässigen Düngergrube oder eines undichten Siels kann beträchtliche Verunreinigungen bei Brunnen im Gefolge haben. Es wird ferner in manchen Fällen die Art des Landwirtschaftsbetriebes zu berücksichtigen sein, ob vorwiegend Acker-, Wiesen- oder Waldkultur vorhanden ist, ob Stalldünger oder sogenannter künstlicher (Kainit, Phosphorit, Thomasschlacke, Gips u. dgl.) zur Verwendung kommen.

Ausgedehnte Flächen von Sumpf, Moor- oder Torfablagerungen verleihen dem Wasser bestimmte Eigenschaften; es nimmt mitunter Huminsubstanzen auf, welche ihm in gelöstem Zustande eine gelbliche bis bräunliche Farbe verleihen, oder im ungelösten als braunschwarze Flocken ausfallen.

Nicht unbeachtet darf die Beschaffenheit des Bodens bleiben. Für die Zusammensetzung des Wassers ist die Art der geologischen Formation maßgebend, da es infolge seiner lösenden Kraft und durch die chemische Einwirkung bereits vorhandener Stoffe Bestandteile des Bodens in sich aufnimmt.

Was die Verunreinigung von Flüssen betrifft, so darf ungeachtet ihrer Ursache der Charakter solcher Wasserläufe nicht ohne Berücksichtigung bleiben, da dieser für den Grad der Selbstreinigung bestimmend ist. Es würde zu weit führen, im vorliegenden Werke des näheren auf das Schicksal fremder Stoffe im Flußwasser einzugehen, es sei vielmehr nur erwähnt, daß außer der Tätigkeit der niederen Pflanzenwelt (Algen, Pilze und Bakterien im engeren Sinne) auch höhere pflanzliche Vegetationen an den Ufern und seichten Stellen von Bedeutung sind, und daß das Maß der Strömungsgeschwindigkeit eine hervorragende Rolle bei diesem tatsächlich

bestehenden Vorgange spielt, dessen Zustandekommen im einzelnen noch nicht genau bekannt ist. Abgesehen von diesen verwickelten Verhältnissen wird man bei der Probeentnahme schon auf die Bewegung des Wassers Bedacht nehmen müssen, da je nach ihrem Grade eine innigere oder geringere Vermischung mit den jeweilig verunreinigenden Stoffen und eventuell eine Sedimentierung des unlöslichen Anteils zu stande kommt, und weiterhin die Sauerstoffaufnahme des Wassers davon abhängig ist. Es kommen hier die von Natur aus bestehenden Bedingungen für die Fortbewegung des Flußwassers in Betracht, wie beispielsweise die Abflachung des Geländes und dementsprechende Windung und Schlängelung des Flußlaufes. Nicht minder wichtig sind die von Menschenhand geschaffenen Behinderungen der Strömung in Form von Wehren und anderen Stauvorrichtungen. Der Vergleich von Proben ober- und unterhalb solcher Anlagen bietet oft einen sehr lehrreichen Einblick in die obwaltenden Verhältnisse.

Berücksichtigung meteorologischer Verhältnisse. In vielen Fällen ist es angezeigt, gewissen meteorologischen Verhältnissen Beachtung zu schenken. Bei flachen Oberflächengewässern oder bei solchen von geringer Strömung und insbesondere in der Nähe des Meeres (an den Mündungsstellen von Flüssen) ist die Stärke und die Richtung des Windes beeinflussend für die Zusammensetzung des Wassers. Auch die Menge der Niederschläge, welche der Zeit der Untersuchung vorangegangen sind, ist von besonderer Bedeutung. Im allgemeinen wird man zu große, plötzliche Regenmengen und anhaltende Trockenheit zu umgehen suchen, falls nicht einer dieser Zustände die Untersuchung wünschenswert erscheinen läßt. Denn es ist eine bekannte Erfahrung, daß offene Wasserflächen nach starken Regengüssen mehr organische Substanzen führen, welche von den umliegenden Ländereien zugeschwemmt werden, und anderseits bei geringer Niederschlagsmenge mehr durch Grundwasser und Quellen versorgt werden, welche je nach der geologischen Formation eine Bereicherung an anorganischen Bestandteilen bedingen. Mit gewissen Einschränkungen ist auch das innerhalb des Bodens sich bewegende Wasser derartigen Veränderungen durch solche Naturereignisse unterworfen.

Kapitel 53.

Die Probeentnahme für bakteriologische Untersuchung.

Die eigentliche bakteriologische Untersuchung eines Gebrauchswassers wird man stets solchen Instituten und Laboratorien anvertrauen, die mit den nötigen Hilfsmitteln ausgestattet sind und über geschulte Kräfte verfügen. Dagegen ist es für den Geologen wichtig, zu wissen, in

welcher Weise die Entnahme der für solche Untersuchung bestimmten Wasserproben zu erfolgen hat, da es gar häufig schon der Kosten wegen unausführbar sein wird, diese Arbeit von einem in bakteriologischen Untersuchungen geschulten Gelehrten ausführen zu lassen.

Da die Zahl der in einem Wasser enthaltenen Bakterien sich bei dessen Aufbewahrung in Gefäßen ganz rapide vermehrt und aus der Art dieser Vermehrung in keiner Weise Rückschlüsse auf den Arten- und Individuenreichtum des Wassers bei der Entnahme gemacht werden können, so ist darauf hinzuwirken, daß zwischen dem Augenblicke der Entnahme und der Anlage der Kulturversuche nicht allzulange Zeit verstreiche.

Professor Dr. H. Jäger gibt in der Zeitschrift für praktische Geologie 1906, S. 299—301 folgende Anweisung:

Die Entnahme der Wasserproben für die bakteriologische Untersuchung findet darin ihre technische Hauptschwierigkeit, daß mit ihr zusammen schon die Vorbereitung der Kultur erfolgen muß. Da die Vermehrung der in einer entnommenen Wasserprobe enthaltenen Keime sehr rasch erfolgt (man rechnet bei 20° C. ungefähr auf die Entstehung einer neuen Generation 20 Minuten, wobei ein Keim sich in zwei teilt, zwei in vier u. s. w.), und da das Maß dieser Proliferation ganz wesentlich von der wechselnden Außentemperatur abhängt, so ist ersichtlich, daß aus der bakteriologischen Untersuchung von Wasserproben, die erst einen langen Transport bis zum Laboratorium des Hygienikers durchgemacht haben, zuverlässige Ergebnisse nicht gewonnen werden können.

Der Geologe muß also das von ihm an Ort und Stelle gefundene Wasser nicht nur in einem sterilen Glasgefäß auffangen, sondern er muß auch die zur bakteriologischen Keimzählung erforderliche Menge (man pflegt bei Wasserproben, von welchen man keine sehr erheblichen Verunreinigungen erwartet, eine Probe von 0,5 und eine von 0,1 ccm Wasser zu verarbeiten) auf einen festen Nährboden übertragen, denn nur auf einem solchen läßt sich erreichen, daß jeder einzelne bei der Entnahme in der Wasserprobe enthaltene Bakterienkeim unverrückbar an seinem Ort verbleibt: er wird auf oder in der Nährgelatine festgeleimt. Zwar ist ihm ja jetzt die Möglichkeit der Vermehrung nicht entzogen — soll sie auch nicht —, aber aus dem einzelnen irgendwo festgeleimten Bakterienkeim entsteht bei der Vermehrung ins Ungemessene die Bakterienkolonie, die ja mit bloßem Auge sichtbar ist, und sie, nicht der ursprüngliche Keim, ist der Gegenstand der bakteriologischen Keimzählung: so viele Bakterienkolonien auf der Nährgelatineplatte, so viele Bakterienkeime waren in der zur Untersuchung ausgesäten Probe.

Der Geologe kann sonach der Mitnahme des fertig präparierten Bakterienzüchtungsmaterials — sagen wir zunächst der Nährgelatine — nicht entraten. Die Firmen Lautenschläger-Berlin, Altmann-Ber-

lin, Leitz-Wetzlar und Berlin u. a. liefern komplette Kasten für bakteriologische Wasseruntersuchungen; ich nenne vor allen den von Herrn Geh. Obermedizinalrat Prof. Dr. M. Kirchner angegebenen. Die Sterilisierung der nötigen Gefäße, ihre Beschickung mit Nährmaterial, späterhin die Auszählung der beimpften Kulturplatten oder Schalen wird der betreffenden hygienischen Untersuchungsstelle überlassen bleiben müssen.

I. Die Entnahme.

Für den Geologen wird sich also die Sache folgendermaßen gestalten: Er findet in dem Kasten leere sterilisierte Kölbchen oder Reagenzgläser: diese dienen zur Entnahme der Proben. Der Verschluß (weißer Wattepfropf) darf nicht vor Einfüllen der Wasserprobe abgenommen und seine unteren, im Glase steckenden Teile dürfen auch nach Abnahme weder mit den Händen noch sonst mit einem Gegenstand in Berührung kommen. Das in dieser Weise geöffnete Entnahmegefäß wird in den vollen Wasserstrom hineingehalten oder eingetaucht; es darf nicht an der Mündung angefaßt werden, auch nicht mit dem Boden, dem Ausflußrohr u. s. w. in Berührung kommen. Das Gefäß darf höchstens bis zur Hälfte gefüllt werden, damit Benetzung des Verschlusses (Einziehen von Wasser in denselben, Hinabspülen von Keimen von der Außenseite durch die Watte hindurch in die Wasserprobe) verhütet wird.

II. Die Aussaat.

Der Kasten enthält in einer Blechhülse eine Anzahl von sterilisierten Pipetten, die 1 ccm fassen und eine Einteilung in $^1/_{10}$ ccm besitzen. Für jede Wasserprobe ist eine besondere Pipette zu verwenden; diese darf bei der Arbeit nur an dem Saugende, niemals am Tauchende oder in dessen Nähe angefaßt werden.

Ferner enthält der Kasten sterilisierte flache Glasschalen (sogenannte Petrische Schalen) leer, sowie eine Anzahl von Reagenzgläsern, deren jedes zu $^1/_3$ mit steriler Nährgelatine gefüllt ist. Außerdem findet sich eine Spirituslampe. Mit einiger Übung gelingt es leicht, die Nährgelatine in den Reagenzgläsern durch vorsichtiges Erwärmen über der freien Flamme (drehen, zuerst oben erwärmen, hin und her neigen, nicht zum Kochen kommen lassen!) flüssig zu machen. Bequemer ist es, die Röhren in warmes Wasser zu stecken. Die Gelatine darf aber zur Verarbeitung nicht heißer sein als 37° C., weil sonst die mit der Wasserprobe eingesäten Bakterien zum Teil absterben könnten; sie muß also nach Bedarf wieder etwas gekühlt werden, dabei aber flüssig bleiben (über 25° C.).

Nunmehr wird mittels einer der sterilen Pipetten in eine der Petri-

schalen 0,5 ccm, in eine zweite 0,1 ccm der Wasserprobe eingeträufelt, die flüssig gemachte Gelatine darüber gegossen, durch Hin- und Herneigen der Schale das Wasser in der Gelatine möglichst gleichmäßig verteilt, die Schale zugedeckt (der weitere Teil ist der Deckel — übergreifend) und die Schale auf einen möglichst ebenen und horizontalen Tisch gestellt. Womöglich stellt man ein Gefäß mit Eis dazu und deckt über alles einen Eimer oder dgl. (Unter keinen Umständen darf aber etwas von dem Eiswasser in die Kulturplatten hineinlaufen!) Man wartet jetzt, bis die Nährgelatine wieder erstarrt ist, und kann die fertigen Kulturplatten nunmehr verpacken und ins Laboratorium verschicken. Bei hoher Temperatur packt man 1—2 gefüllte Eisbeutel, wie sie in der Krankenpflege gebraucht werden, dazu, damit die erstarrte Gelatine nicht wieder schmilzt. Ebenso wird mit den weiteren Proben verfahren.

Bequemer für den Geologen sind solche Untersuchungskasten, welche statt der leeren Petrischalen und der Reagenzgläser mit Nährgelatine die sogenannte Roszaheghischen Fläschchen enthalten: flache Fläschchen von der Form der in die Brusttasche zu steckenden Schnapsflaschen. Sie enthalten schon die erforderliche Menge Nährgelatine; diese braucht bloß im warmen Wasser flüssig gemacht zu werden, dann wird, wie oben, mittels der Pipette die zu untersuchende Wasserprobe hinzugefügt, in der Nährgelatine möglichst gleichmäßig verteilt und auf der mit eingeritztem Zählnetz versehenen Fläche der Flasche durch Hin- und Herbewegen ausgebreitet, dann die Flasche — so wie oben die Schale — flach, eben und kühl gelegt bis zur Erstarrung der Gelatine, und die Aussaat ist vollendet.

Nun hat aber, wie man sieht, die ganze Sache einen Nachteil; der beruht auf dem niedrigen Schmelzpunkt der Nährgelatine: werden durch Sommerwärme die gegossenen Kulturplatten wieder flüssig, so ist die ganze Arbeit vergeblich gewesen. Außerdem kommen im Wasser auch häufig Bakterien vor, welche leimlösende, die Gelatine verflüssigende Enzyme bilden und so gleichfalls die Untersuchung stören oder zerstören können.

Der niedrige Schmelzpunkt der Gelatine wird besonders in den Tropen die Anwendung der Nährgelatine unmöglich machen. Für diese Fälle muß ein anderer Nährboden Verwendung finden, der sogenannte Heiden-Agar. Der hier die Gelatine ersetzende indische Seetang „Agar" kann erst über 40° C. langsam zum Schmelzen gebracht werden und erstarrt schon bei 40° C. wieder. Diesem mit Wasser gekochten Agar werden als Bakteriennährstoffe Pepton sowie das Nährpräparat der chemischen Fabrik Heiden zugesetzt. Dieser Nährboden ist infolge seines raschen Wiedererstarrens nach dem Schmelzen weniger handlich als die Gelatine, man kann deshalb die zur Aussaat gelangenden Wasserproben (0,5 bezw. 0,1 ccm) nicht mit dem geschmolzenen Nährboden vermischen, sondern man muß sie auf die in der Petrischale

bezw. im Roszaheghischen Fläschchen flächenhaft erstarrte Oberfläche des Nährbodens aufträufeln und hier durch sorgfältiges Hin- und Herbewegen möglichst zur Verteilung bringen. Benutzt man Petrischalen, so kann man mittels eines federkielstarken, rechtwinkelig gebogenen Glasstabes, sogenannten Drigalskischen Spatels (kurzer Schenkel etwa 4 cm, langer Schenkel etwa 20 cm), dessen kurzes Ende man durch Erhitzen in der Spiritusflamme keimfrei gemacht hat, dann aber wieder hat abkühlen lassen, der Wasserverteilung nachhelfen, indem man die Wasserprobe auf der Nährfläche verreibt.

Allerdings läßt sich gegen dieses Vorgehen einwenden, daß einige Keime des Wassers am Spatel hängen bleiben und so der Zählung entgehen, doch dürfte bei solchen nur im allgemeinen orientierenden Untersuchungen dieser Fehler nicht schwer ins Gewicht fallen.

Die Herstellung des Heiden-Agar und die Beschickung der Schalen oder Fläschchen würde selbstverständlich wiederum Sache der betreffenden hygienischen Untersuchungsstelle sein; es sei denn, daß der Geologe auf lange Zeit ohne Fühlung mit einer solchen Anstalt bleibt. Alsdann muß er den fertigen Nährboden in den Reagenzgläsern, die mit Gummikappen und Paraffin gegen Verdunsten verschlossen sind, mitführen, zum unmittelbaren Gebrauch erst in heißem Wasser schmelzen, sodann in die Schalen ausgießen (Absengen des Randes des Reagenzglases vor dem Ausgießen, Schalen schnell wieder zudecken!) und erstarren lassen. In diesem Falle würde ihm aber allerdings auch die Keimzählung zufallen, auf welche er sich zuvor in der betreffenden Untersuchungsstelle einzuüben haben würde. Sie wird mit dem bloßen Auge, bezw. mittels der Lupe vorgenommen und ist unter Zuhilfenahme eines quadrierten Zählnetzes sehr einfach.

Bemerkt mag noch werden, daß auf dem Heiden-Agar erheblich mehr Bakterien wachsen als auf der Nährgelatine; etwa zwei- bis dreimal soviel; die auf den zwei verschiedenen Nährböden erhaltenen Resultate sind also nicht untereinander ohne weiteres vergleichbar.

Im vorstehenden ist die Technik geschildert, wie sie ausreicht zur Keimzählung von sehr reinen, keimarmen bis zu ziemlich stark verunreinigten Wässern von 8—10 000 Keimen auf 1 ccm; denn wir werden im letzteren Falle auf der mit 0,10 ccm angelegten Platte etwa 1000 Kolonien haben, die immer noch annähernd zu zählen sein werden. Das dürfte im allgemeinen auch genügen; denn ein so keimreiches Wasser muß irgend welche groben Verunreinigungen von der Oberfläche her erhalten, welche zu ermitteln die nächste Aufgabe sein wird. Gleichgültig ist es aber dann wohl in der Regel, ob es sich nun statt um 10 000 um 100 000 oder noch mehr Keime auf 1 ccm handelt. Sollen solche genaueren Bestimmungen gemacht werden, so müssen die entnommenen Wasserproben mittels sterilisierten Wassers um das 10-, 100-, 1000fache verdünnt und von diesen Ver-

dünnungen dann erst wiederum Platten von 0,5 und 0,1 ccm angelegt werden wie oben. Doch dürften solche Aufgaben dann wieder dem Bakteriologen zu überlassen sein.

Zum Schlusse noch das eine: eine hohe Zahl von Bakterienkeimen bedingt an sich keine Gefahr; sie gibt nur einen Fingerzeig, daß das betreffende Wasser eine Verunreinigung erfährt; welcher Art diese ist, ob sie ihrem Ursprung nach (Abfallstoffe des menschlichen Haushaltes!) sanitär bedenklich ist oder nicht, das muß erst noch ermittelt werden. Hiebei kann die (qualitative) chemische Untersuchung wesentlich unterstützend wirken: Ammoniak, salpetrige Säure und Salpetersäure machen einen Zufluß von menschlichen oder tierischen Fäkalien (besonders Harn) sehr wahrscheinlich, gleichzeitiger hoher Chlorgehalt, wenn er nicht durch die Bodenbeschaffenheit (z. B. brackiges Grundwasser) bedingt ist, beweist ihn.

Kapitel 54.

Bestimmung von schwebenden Körpern, Rückstand und Härte.

Chemische Untersuchung des Wassers. Von den zahlreichen und zu außerordentlicher Feinheit entwickelten Methoden der quantitativen Wasseranalyse kann an dieser Stelle nicht gehandelt werden, da sie dem Chemiker überlassen bleiben muß. Ich beschränke mich darauf, für drei Dinge, die dem Geologen und Techniker oft von großem Interesse sind, quantitative, verhältnismäßig einfache Methoden anzugeben, nämlich für die Ermittlung der Menge der im Wasser schwebenden festen Bestandteile, für die Bestimmung des sogenannten Rückstandes, sowie zur Feststellung der sogenannten Härte. Dagegen können für die übrigen im Wasser auftretenden wichtigeren Stoffe nur einfache qualitative Nachweismethoden angegeben werden.

1. Bestimmung der schwebenden festen Körper. Um die Menge der in einem Fluß- oder sonstigen Wasser mechanisch suspendierten (schwebenden) Bestandteile (Flußtrübe) zu ermitteln, läßt man in einem wohlverschlossenen Gefäße 1—2 Liter des Wassers zunächst ruhig stehen, bis die Trübe sich abgesetzt hat. Hierauf wird das Wasser durch ein bei 110° getrocknetes, vorher gewogenes Filter von bekanntem Aschengehalte gegeben. Dann bringt man den Bodensatz unter sorgfältigem Nachspülen mit destilliertem Wasser ebenfalls auf das Filter, wobei man zum Ablösen fest anhaftender Teilchen sich zweckmäßig eines Glasstabes bedient, über dessen unteres Ende ein kurzes Stück Kautschukschlauch gespannt ist. Der Inhalt des Filters wird gut ausgewaschen, mit diesem

bei 110° getrocknet und nach dem Erkalten im Wägeröhrchen gewogen. Den organischen Anteil, den Glühverlust, ermittelt man in derselben Weise, wie bei dem Rückstande, nachdem man den Filterinhalt in einen Tiegel gebracht und das in einer Platinspirale veraschte Filter beigefügt hat.

2. Bestimmung des Rückstandes und des Glühverlustes. Den Rückstand, d. h. die bei 100° nicht flüchtigen Bestandteile des Wassers ermittelt man, indem man in einer gewogenen Schale von etwa 50 cm³ Inhalt (Porzellan oder Platin) 500 cm³ des vorher filtrierten Wassers verdampft, den Rückstand bei 110° trocknet und die Schale wägt. Das Mehrgewicht der Schale in Grammen gibt, mit 5 dividiert, den Rückstand in Prozenten an. Wird der Rückstand geglüht, so erfährt er eine Gewichtsverminderung, die auf dem Verbrennen organischer Substanz, auf dem Entweichen des Kristallwassers der Salze und auf der Umwandlung organischer in unorganische Säuren beruht.

Um die letzteren, meist als Karbonat gebunden, nicht zu zerstören, sowie um das Verjagen der Alkalichloride zu vermeiden, darf man das Glühen nur bis zur sogenannten dunklen Rotglut treiben und muß nach dem Glühen etwa doch zerstörte Karbonate durch Betupfen mit kohlensäurehaltigem Wasser regenerieren; letzteres wird vor dem Wägen durch schwaches Erhitzen wieder verjagt. Die Gewichtsminderung, die der Rückstand durch das Glühen erfahren hat, bezeichnet man als Glühverlust.

3. Die Bestimmung der Härte des Wassers nach Clark. Die Menge der in dem Wasser enthaltenen Kalk- und Magnesiasalze bedingt die sogenannte Härte, und zwar versteht man unter einem Härtegrad bei uns, daß in 100 000 Gewichtsteilen Wasser ein Gewichtsteil Kalkerde (CaO) enthalten ist. Für vorhandenes Magnesiumoxyd wird dabei die äquivalente Menge Kalkerde gerechnet, die man durch Multiplikation mit dem Faktor 1,4 erhält. Ein französischer Härtegrad bezeichnet die Anwesenheit von einem Teile Kalkkarbonat in 100 000 Teilen Wasser, ein englischer einen Gewichtsteil Kalkerde in 125 000 Teilen Wasser. Es entsprechen also

100 englische Härtegrade 80 deutschen,
100 französische Härtegrade 56 deutschen,
100 französische Härtegrade 70 englischen.

Das Prinzip der Härtebestimmung beruht darauf, daß man mit einer Seifenlösung von bestimmtem Gehalte eine chemische Umsetzung der neutralen Erdalkalien mit fettsaurem Kalium (der Seife) herbeiführt; hiebei bilden die Erdalkalien unlösliche Verbindungen mit den Fettsäuren, während die anorganischen Säuren mit den Alkalien sich zu löslichen Salzen vereinigen.

Die Seifenlösung ist so hergerichtet, daß sie in 100 cm³ Wasser 12 mg Kalk- oder äquivalente Mengen von neutralem Baryum- oder Magnesiumsalze zu binden vermag; sie zeigt also 12 deutsche Härtegrade an.

Zunächst stellt man sich die nötige Seife her, indem man 150 Teile Bleipflaster auf dem Wasserbade zerfließen läßt und hiernach mit 40 Teilen Kaliumkarbonat zu einer gleichmäßigen Masse verreibt. Diese wird mit absolutem Alkohol ausgezogen und das Ganze zur Abscheidung etwaiger ungelöster Bestandteile filtriert. Aus dem Filtrat beseitigt man den Alkohol durch Destillation und trocknet hiernach die zurückbleibende Seife im Wasserbade. Zur Bereitung der Seifenlösung löst man vorläufig 20 Teile der eben hergestellten Seife in 1000 Teilen verdünnten Alkohols von 56 Volumprozenten auf. Zu ihrer Prüfung stellt man sich eine Baryumsalzlösung her, von welcher 100 cm³ 12 mg Kalkäquivalent entsprechen. Man erzielt sie, indem man 0,599 g reines, bei 100° C. getrocknetes Baryumnitrat oder 0,523 g reines lufttrockenes Baryumchlorid ($BaCl_2 + 2\,H_2O$) in einem Liter destillierten Wassers löst. Die Baryumsalze sind an Stelle von Calcium- oder Magnesiumsalzen gewählt, weil sie schneller und leichter mit der Fettsäure in Verbindung treten, als letztere.

Einstellung des Titers der Seifenlösung. In ein Stöpselglas von 200 cm³ Inhalt füllt man 100 cm³ der obigen Baryumsalzlösung und läßt aus einer Quetschhahnbürette zunächst eine größere Menge, später nur immer 0,5 cm³ und schließlich nur Tropfen der Seifenlösung zufließen. Inzwischen schüttelt man den Inhalt des Stöpselglases gehörig durch und beobachtet, ob sich ein feinblasiger Schaum bildet, welcher 5 Minuten lang bestehen bleibt. Hätte man z. B. 18 cm³ Seifenlösung verbraucht, um eine solche Schaumbildung zu erzielen, so ist erstere zu konzentriert. Es müssen demnach 18 cm³ derselben in einem Meßzylinder mit 27 cm³ 56%igem Alkohol verdünnt werden, um die richtige Seifenlösung zu erlangen. Selbstverständlich ist diese nochmals auf ihre Zuverlässigkeit in gleicher Weise wie vorher zu prüfen, wobei für 100 cm³ der Baryumsalzlösung genau 45 cm³ verbraucht werden dürfen.

Ausführung der Wasseruntersuchung. In das wohlgereinigte Stöpselglas werden 100 cm³ des zu prüfenden Wassers mittels einer Pipette gebracht. Den Stand des Wasserspiegels bezeichnet man sich mit einer Marke. Hierauf wird die Titrierung in gleicher Weise wie bei der Titerstellung mit der Seifenlösung ausgeführt.

Bei Wässern mit stärkerer Härte als 12 deutschen Graden sind immer Verdünnungen, jedoch stets das gleiche Volumen anzuwenden. Man wird deshalb 10, 20 oder 30 cm³ Wasser benutzen und dann erst die Untersuchung einleiten, nachdem man bis zur oben erwähnten Marke mit destilliertem Wasser aufgefüllt hat.

Die Umrechnung des Verbrauches an Seifenlösung auf Härtegrade geschieht unter Berücksichtigung etwa vorgenommener Verdünnung mittels Benutzung der nachstehenden Tabelle:

Tabelle von Faist und Knauss.

Es entsprechen cm^3 verbrauchter Seifenlösung	Deutschen Härtegraden	Es entsprechen cm^3 verbrauchter Seifenlösung	Deutschen Härtegraden
3,4	0,5	22,6	5,5
5,4	1,0	24,4	6,0
7,4	1,5	26,2	6,5
9,4	2,0	28,0	7,0
		29,8	7,5
Die Differenz von 1 cm^3 Seifenlösung = 0,25 Härtegrad		31,5	8,0
		Die Differenz von 1 cm^3 Seifenlösung = 0,277 Härtegrad	
11,3	2,5		
13,2	3,0	33,3	8,5
15,1	3,5	35,0	9,0
17,0	4,0	36,7	9,5
18,9	4,5	38,4	10,0
20,8	5,0	40,1	10,5
		41,8	11,0
Die Differenz von 1 cm^3 Seifenlösung = 0,26 Härtegrad		Die Differenz von 1 cm^3 Seifenlösung = 0,294 Härtegrad	
		43,4	11,5
		45,0	12,0

Beispiele: Der Verbrauch an Seifenlösung sei gewesen:

1. 26,2 cm^3 = 6,5 deutsche Härtegrade.

2. 27,4 cm^3. Die Differenz der nächst höheren Stelle 28,0 ist 28,0 — 27,4 = 0,6 cm^3. In dieser Kolumne entspricht 1 cm^3 Seifenlösung 0,277 Härtegrad, folglich 0,6 cm^3 $= \frac{0{,}6 \times 0{,}277}{1} = 0{,}1662$ Härtegrade. Die Härte des Wassers betrug demnach 7,0 — 0,166 = 6,83 Grade.

3. 21,0 cm^3. Die Differenz zur nächst liegenden niederen Stelle 20,8 beträgt 21,0 — 20,8 = 0,2; hier entspricht 1 cm^3 Seifenlösung 0,26 Härtegrad, demnach 0,2 $cm^3 = \frac{0{,}26 \times 0{,}2}{1} = 0{,}052$. Härte des Wassers = 5,0 + 0,05 = 5,05 Grade. Die Differenz zur nächst höheren Stelle 22,6 beträgt 22,6 — 21,0 = 1,6. In der Kolumne, in welcher 22,6 steht, entspricht 1 cm^3 Seifenlösung 0,277 Härtegrad; demnach treffen auf 1,6 $cm^3 = \frac{1{,}6 \times 0{,}277}{1} = 0{,}4432$ Grad und folglich auf 21 cm^3 Seifenlösung 5,5 — 0,44 = 5,06 deutsche Härtegrade.

Der Gesamtgehalt des unveränderten Wassers an Kalk- und Magnesiasalzen bedingt die Gesamthärte. Durch Kochen des Wassers werden von diesen Salzen die kohlensauren zum größten Teile ausgefällt und eine erneute Untersuchung ergibt eine Verminderung der Härte, die nun nur noch auf der Anwesenheit von Sulfaten, Nitraten und Chloriden beruht. Diese verminderte Härte bezeichnet man als die bleibende, den Unterschied beider Härten als die verschwindende Härte. Die Ermittlung der bleibenden Härte erfolgt in derselben Weise wie die der Gesamthärte.

Kapitel 55.

Bestimmung schädlicher Stoffe.

Der qualitative Nachweis von Salpetersäure, salpetriger Säure, Ammoniak, Schwefelsäure, Chlor, Schwefelwasserstoff und Kohlensäure. Die quantitative Bestimmung aller dieser Stoffe ist umständlich und muß dem Chemiker überlassen bleiben. Indessen wird es für den Techniker und Geologen oft von Wichtigkeit sein, sofort festzustellen, ob ein Wasser einen der genannten mit Ausnahme der Kohlensäure überaus schädlichen Stoffe in solchen Mengen enthält, daß es für den Genuß ungeeignet wird. Man bedient sich zu diesem Zwecke folgender Methoden:

a) Salpetersäure. Für die rasche Erkenntnis eines höheren Gehaltes an Salpetersäure hat man in der Brucinprobe ein geeignetes Mittel. Zu dem Zwecke wird 1 Teil Brucin in ca. 800 Teilen destillierten Wassers gelöst; von dieser Lösung werden 2 Tropfen zu einem durch Eindampfen von 1 cm^3 des zu untersuchenden Wassers in einem kleinen Porzellanschälchen gewonnenen kleinen Tropfen zugemischt und sodann 1—10 Tropfen Schwefelsäure zugegeben. Tritt dabei eine intensive Rosafärbung ein, so enthält das Wasser mehr Salpetersäure, als in einem guten Trinkwasser sein darf. Bleibt das Wasser farblos, so enthält es wenig oder keine Salpetersäure.

b) Salpetrige Säure. Schon geringfügige Spuren von salpetriger Säure machen Wasser zum Trinken ungeeignet. Um sie zu erkennen, fügt man zu dem Wasser eine Mischung von 1 Teil Jodkalium mit 10 bis 12 Teilen Stärkelösung. Bei Anwesenheit auch ganz geringer Mengen der Säure tritt eine Blaufärbung der Stärke ein. Es ist indessen zu beachten, daß auch freies Chlor und Brom diese Reaktion hervorrufen. Sicherer ist die Prüfung mittels einer Lösung von schwefelsaurem Metaphenylendiamin. Die Herstellung wird bewerkstelligt, indem man 1 Teil reinen, bei 63° schmelzenden Metaphenylendiamins in 200 Teilen Wasser löst und

mit verdünnter Schwefelsäure bis zu deutlich saurer Reaktion versetzt. Die Flüssigkeit muß farblos sein, widrigenfalls sie vor dem Gebrauch durch Erwärmen mit ausgeglühter Tierkohle zu entfärben ist. Zur Prüfung des zu untersuchenden Wassers säuert man ein halbes Proberöhrchen desselben mit verdünnter Schwefelsäure an und fügt schwefelsaures Metaphenylendiamin hinzu. Etwa vorhandene salpetrige Säure bedingt die Bildung eines Azofarbstoffes, Triamidoazobenzol, welcher sich durch eine gelbbraune Färbung (Bismarckbraun) verrät.

c) Ammoniak. Da Ammoniak selbst in millionenfacher Verdünnung im Trinkwasser unstatthaft ist, so ist auch darauf zu untersuchen. Man bedient sich zur Prüfung des in den Apotheken meist fertig zu erhaltenden Neßlerschen Reagens. Man erhält es, wenn man 2 g Jodkalium in 5 g erwärmtem, destilliertem Wasser auflöst und sodann Quecksilberjodid so lange zusetzt, bis ein Teil desselben sich nicht mehr löst. Nach dem Erkalten verdünnt man die so erhaltene Lösung mit 20 g Wasser, filtriert und gibt auf 20 g Lösung 30 g konzentrierte Kalilauge bei. Die Flüssigkeit ist in einem gut verschließbaren Gefäße mit eingeschliffenem paraffinierten Glasstöpsel aufzubewahren. — Man fügt zu dem auf Ammoniak zu untersuchenden Wasser Natronlauge zu und gießt sodann eine kleine Menge des Neßlerschen Reagens bei. Die Anwesenheit von Ammoniak erkennt man an einer etwa erfolgenden roten oder rötlichen Färbung der Flüssigkeit.

d) Schwefelsäure. Die Anwesenheit von Schwefelsäure erkennt man daran, daß einige dem mit Salzsäure angesäuerten Wasser beigefügte Tropfen einer Lösung von Chlorbaryum eine weißliche Trübung oder einen deutlichen Niederschlag von Baryumsulfat ergeben. Gutes Trinkwasser darf nicht über $^1/_{100}$ % Schwefelsäure enthalten.

e) Chlor. Einen Chlorgehalt erkennt man an der Trübung, die in dem mit Salpetersäure angesäuerten Wasser sich nach Zufügung einiger Tropfen von Höllensteinlösung einstellt und auf der Abscheidung von Chlorsilber beruht. Trinkwasser soll nicht über 3 Teile Chlor in 100 000 Teilen Wasser enthalten.

f) Schwefelwasserstoff. Die Anwesenheit freien Schwefelwasserstoffes macht sich auch in den kleinsten Mengen der für dieses Gas außerordentlich empfindlichen Nase durch den Geruch nach faulen Eiern untrüglich bemerkbar.

g) Kohlensäure. Die Anwesenheit von Kohlensäure im Wasser, sie mag halb oder ganz gebunden oder frei sein, wird an einer weißlichen Trübung erkannt, welche sich einstellt, wenn man das Wasser mit einer Calciumhydratlösung versetzt. Man achte darauf, daß bei

der Probeentnahme das Gefäß so weit gefüllt wird, daß es aus der darüber stehenden Luft keine nennenswerte Kohlensäuremenge zu absorbieren vermag. — Ist die Kohlensäure ganz oder halb gebunden als kohlensaures Salz im Wasser, so braust der Rückstand der Eindampfung des Wassers beim Behandeln mit Salzsäure auf. Um freie Kohlensäure im Wasser nachzuweisen, gibt man zu diesem in einem Kölbchen einige Tropfen Rosolsäure (1 %ige Lösung in verdünntem Alkohol); Eintreten einer Gelbfärbung des Wassers weist auf das Vorhandensein freier Kohlensäure hin.

Nachtrag zu Seite 497.

Einen leicht transportabeln Wasserentnahmeapparat nach Spitta-Imhoff bringt nach dem Modell der kgl. Preußischen Versuchsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung Paul Altmann in Berlin, Luisenstraße 47 zum Preis von 135 Mark in den Handel (Fig. 242).

Fig. 242.



Mit dem Apparat werden gleichzeitig 3 Quantitäten Wasserproben aus einer ganz bestimmten Tiefe entnommen für chemische und bakteriologische Untersuchung und zur Bestimmung des Gasgehaltes (Sauerstoff).

Durch den Auftrieb, welchen die große viereckige Flasche *e* unter Wasser erleidet, wird selbsttätig ein Fallgewicht *d* ausgelöst; dieses zertrümmert den Hals *b* des kleinen Abschlagröhrchens, so daß die Probe zur bakteriologischen Untersuchung aufgenommen wird. Die beiden mit genauer Inhaltsangabe versehenen, auf der Grundplatte fixierten Flaschen *a* dienen für einwandsfreie Entnahme von Proben zur Bestimmung des Gasgehalts (Sauerstoff) im Wasser. Das Wasser tritt ein in den Hals der Flaschen *a* und läuft durch das Hahnrohr über *g* und *f* bei *h* in die Flasche *e*. Durch *i* entweicht die Luft. Mittels *c* wird das Fallgewicht *d* an der Flasche *e* befestigt, durch deren Auftrieb es gelöst wird. Der ganze Apparat läßt sich bei Befestigung an den Ausziehstock bei *f* bis auf 1 m unter Wasseroberfläche versenken, liefert also einwandsfreie Proben zur chemischen Analyse, zur bakteriologischen Untersuchung und zur Prüfung des Gasgehaltes des Wassers aus dieser Tiefe.

Arbeiten im Hause.

A. Methoden der Bodenuntersuchung.

Kapitel 56.

Zweck der Bodenuntersuchung. Probeentnahme.

Die Bodenuntersuchung[1]) beschäftigt sich sowohl mit der Zusammensetzung der als Träger der Vegetation hervorragend wichtigen, oberen, mehr oder weniger gelockerten Verwitterungsrinde, als auch mit dem Gestein, aus welchem diese hervorgegangen ist. Die erstere wird gemeinhin als Ackerboden, Ackerkrume oder Oberkrume, das letztere als Untergrund bezeichnet. Die Untersuchung selbst kann entweder vom geognostischen oder vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus erfolgen oder der Beantwortung hygienischer Fragen dienen. Im ersteren Falle wird es hauptsächlich darauf ankommen, die petrographische Zusammensetzung und die Art und Weise der Entstehung der Ackerkrume aus dem unterlagernden, unverwitterten Gesteine, also mit anderen Worten den Gang der Verwitterung kennen zu lernen. Den Hygieniker interessieren wesentlich die physikalischen Eigenschaften des Bodens und seine Beziehungen zu Wasser, Luft und Wärme. Letztere sind auch bei der Untersuchung vom landwirtschaftlichen Standpunkte aus von Bedeutung. Bei ihr wird man aber den Boden in erster Reihe in seiner Bedeutung für das Pflanzenleben ins Auge fassen und demgemäß nach folgenden Gesichtspunkten untersuchen:

1. Welches sind die Größenverhältnisse der Bodengemengteile und, in welchen Mengen sind die Bestandteile von bestimmter Größe vorhanden? Diese Frage beantwortet die mechanische Bodenanalyse.

---

[1]) Bei der Abfassung dieser Kapitel sind die beiden Werke: F. Wahnschaffe, Anleitung zur wissenschaftlichen Bodenuntersuchung, 2. Auflage, Berlin 1903 bei P. Parey, und A. Nowacki, Kurze Anleitung zur einfachen Bodenuntersuchung, Berlin 1885 bei P. Parey, ausgiebig benutzt worden.

2. In welchen Mengen sind die einzelnen Bodenkonstituenten Sand, Ton, Humus und Kalk im Boden vertreten? Diese Frage wird teils schon durch die mechanische Analyse, teils durch chemische Untersuchungsmethoden, die zum Teil mit ihr verbunden werden, beantwortet.

3. Welchen Gehalt besitzt der Boden an Pflanzennährstoffen?

4. Welche der Pflanzenernährung schädlichen Stoffe sind im Boden enthalten?

5. Welches ist das Verhalten des Bodens gegen Luft, Wasser und Wärme? Welches Aufnahmevermögen für Pflanzennährstoffe besitzt er?

Die dritte und vierte Frage beantwortet die chemische Analyse, während zur Erledigung der fünften eine Anzahl von Einzeluntersuchungen erforderlich sind.

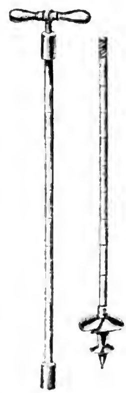
Ehe wir auf die der Beantwortung dieser Fragen dienenden Untersuchungsmethoden eingehen, ist die Art der Entnahme der zur Untersuchung bestimmten Bodenproben zu besprechen.

Für eine vollständige Bodenuntersuchung sind Proben im Gewichte von je 1—3 kg erforderlich: 1. von der obersten, durch den Pflug bewegten Schicht der Ackerkrume, die sich gewöhnlich durch dunklere Farbe von dem darunter folgenden Teile der Verwitterungsrinde scharf abhebt; 2. von diesem eben genannten unteren Teile; 3. von dem darunter folgenden Untergrunde. Bei Wiesen- und Waldböden wird die Trennung von 1. und 2. unmöglich sein und in vielen Fällen wird unter 3. noch eine andere nur durch das Fehlen ganz bestimmter Verwitterungserscheinungen unterschiedene Schicht folgen (z. B. Mergel unter Lehm). Um nun eine ausreichende Menge der verschiedenen Schichten des Bodens zu erhalten, empfiehlt sich am meisten das Ausheben einer Probegrube. Diese habe die Form eines länglichen Rechtecks von $^1/_2$—$^1/_3$ m Breite und 1—1 $^1/_3$ m Länge, je nach der erforderlichen, 2 m wohl nur selten überschreitenden Tiefe. Die Wände müssen mit dem Spaten senkrecht abgestochen werden; in geneigtem Terrain stellt man die längere Seite des Rechtecks parallel dem Gefälle, um ein zu schnelles Nachfallen der Wände zu verhüten. In den meisten Fällen, d. h. fast überall, wo nicht breiartige, schwimmende Sandmassen kommen, wird man die gewünschte Tiefe ohne weiteres erreichen.

Aus der Wand sticht man mit einem Spaten die Ackerkrume bis zu ihrer unteren Grenze ab, schüttelt sie auf ein Laken, mischt sie gut durcheinander und entnimmt von dem Gemenge die erforderliche, von Pflanzenwurzeln möglichst befreite Probe. In der gleichen Weise verfährt man mit den tieferen Schichten. Die Proben werden in leinenen Beuteln oder in Papiertüten, die mit in Wasser unlöslichem Leime geklebt sind, aufbewahrt. Ein auf Ölpapier geschriebenes Etikett legt man der Probe

selbst bei und außerdem beschreibt man, und zwar um Irrtümer auszuschließen, sogleich, die Außenseite der Probedüte mit einem Ölkreidestifte in übereinstimmender Weise. Will man das Aufwerfen der Probegrube vermeiden, so kann man sich auch zur Probeentnahme eines amerikanischen Tellerbohrers (Fig. 243)[1]) bedienen. Dieser besitzt an seinem unteren Ende ein nach oben sich rasch zu einem flachen Teller verbreiterndes Schraubengewinde, mittels dessen er senkrecht in die Erde eingeschraubt wird. Durch wiederholtes vorsichtiges Herausziehen erhält man, zumal in feuchtem Boden, ausreichende Probemengen; nur muß man die zylindrisch geformten tieferen Proben durch Abkratzen mit dem Messer von den beim Herausziehen etwa haften gebliebenen Teilen der Ackerkrume vorsichtig befreien.

Fig. 243.



Bei der Probeentnahme sind eine ganze Anzahl von Dingen zu beobachten und zu notieren:

1. Woraus ist der Boden entstanden?
2. Wie mächtig ist die Ackerkrume?
3. Lassen sich in der Ackerkrume mehrere Schichten erkennen?
4. Wie hoch über dem Meeresspiegel liegt der Boden?
5. Nach welcher Himmelsrichtung ist er geneigt oder liegt er horizontal?
6. Welches ist der Grundwasserbestand?
7. In welche Klasse ist der Boden eingeschätzt?
8. Wird der Boden als warm oder kalt bezeichnet?
9. Was für Düngung ist ihm zu teil geworden?
10. Ist er rigolt, gemergelt, drainiert, bewässert?
11. Was wird auf ihm geerntet und in welcher Reihenfolge?

Bei sehr steinigen Böden läßt man die größeren Steine beiseite, notiert sich aber ihr Vorkommen unter ungefährer Bezeichnung ihrer Menge zusammen mit den angegebenen Punkten.

Die Proben läßt man im Zimmer langsam austrocknen und füllt sie dann in weithalsige Flaschen mit Glasstöpsel, um etwaige Veränderungen in der an kräftig einwirkenden Gasen oft reichen Luft des chemischen Laboratoriums zu vermeiden. Nach der Austrocknung kann die Untersuchung beginnen.

---

[1]) Die in diesem Abschnitte abgebildeten Figuren stammen fast sämtlich aus dem Kataloge der Firma Dr. R. Müncke in Berlin, die dieselben freundlichst zur Verfügung gestellt hat. Daselbst sind alle beschriebenen Apparate käuflich zu haben.

Kapitel 57.

Die mechanische Bodenanalyse.

500—1000 g des lufttrockenen Bodens werden in einer Porzellanschale abgewogen, die zusammenballenden Stücke durch vorsichtiges Drücken mit einem Gummireiber zerkleinert und die ganze Masse hierauf durch ein Messingsieb gegeben, dessen Löcher kreisrund sind und einen Durchmesser von 2 mm besitzen. Die durch das Sieb hindurchgehende Masse wird als Feinboden bezeichnet und dient als Ausgangsmaterial für die weitere sowohl mechanische wie chemische Untersuchung. Der Rückstand wird durch Behandlung mit Wasser von den ihm etwa noch anhaftenden tonigen oder feinsandigen Teilen befreit, bei 100° C. getrocknet und gewogen und das prozentuale Verhältnis zur Gesamtmasse berechnet. Die so erhaltene Zahl gibt den Kiesgehalt des Bodens an. Je nach seiner Menge und den Größenunterschieden seiner Gemengteile wird man ihn durch weitere Siebe mit Öffnungen von 5 und 10 mm noch weiter zerlegen. Man kann sich, um die teueren Messingsiebe für diese Größen zu vermeiden, flacher Pappkästen bedienen, deren Boden man mittels Korkbohrer von der angegebenen Größe mit einigen Löchern versieht. Dieselben erfüllen ihren Zweck vollkommen.

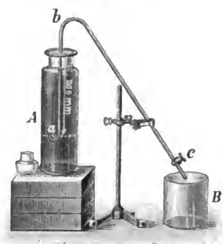
Die Schlämmanalyse. Bei der weiteren mechanischen Untersuchung des Bodens kommt es ganz darauf an, zu welchem Zwecke sie ausgeführt und welches Maß von Genauigkeit beansprucht wird. Will man nur einigermaßen die Bestandteile des Bodens und ihre Mengenverhältnisse beurteilen lernen, so genügt eine Untersuchung mit der Bennigsenschen Flasche oder nach dem Dekantierverfahren mittels des Kühnschen Schlämmzylinders. Will man aber den Boden in eine Reihe von ihrer Größe nach genau begrenzten Teilprodukten zerlegen und genaue Zahlen für die Menge eines jeden derselben erlangen, so bedarf man eines etwas umständlicheren Verfahrens, der Schlämmung mittels des Schöneschen Schlämmapparates.

Die beiden ersten Apparate beruhen auf der verschiedenen Geschwindigkeit, mit der die mit Wasser geschüttelten Teile des Bodens in einer Flasche oder einem Zylinder zu Boden sinken; der letztere dagegen auf der Transportierfähigkeit eines senkrecht aufsteigenden Wasserstromes und auf deren Abhängigkeit von seiner Geschwindigkeit.

Das Dekantierverfahren. Das Wesen des Abschlämmens kann man sich am besten veranschaulichen, wenn man von dem einfachsten Schlämmverfahren, der Dekantiermethode im Zylinder, ausgeht, auf dem auch der unten mit einem Tubus versehene Kühnsche Schlämmzylinder

beruht. Eine abgewogene Menge, 20—30 g, Feinboden unter 2 mm wird in einer Porzellanschale mit Wasser übergossen und unter fortwährendem Umrühren mit einem Glasstabe so lange gekocht, bis die Masse vollständig zu einem feinen Brei zergangen ist. Nach dem Erkalten füllt man das Material in einen Glaszylinder (Fig. 244) von 40 cm Höhe und 6 cm lichtem Durchmesser, welcher oben entweder einen Hals zur Aufnahme eines Glasstopfens besitzt, oder mit einem breiten, abgeschliffenen Rande versehen ist, so daß man ihn mit einer aufgelegten mattgeschliffenen Glasplatte luftdicht verschließen kann. Man füllt nun den Zylinder ganz mit Wasser an, so daß zwischen dem Glasstopfen, bezw. der Glasplatte und der Flüssigkeit nur eine ganz kleine Luftblase übrig bleibt. Genau 200 mm unterhalb der Wasseroberfläche klebt man einen Papierstreifen bei *a* an der Außenseite des Zylinders an. Wenn man nun das Gefäß umkehrt und umschüttelt und gleich darauf wieder senkrecht aufstellt, so sind die im Wasser suspendierten Bodenteilchen durch die Schwerkraft gezwungen, sich allmählich wieder zu Boden zu setzen. Die Fallgeschwindigkeit der im Wasser sich herabsenkenden Körnchen, d. h. den von ihnen zurückgelegten linearen Weg in einer Sekunde bezeichnen wir bei diesem Abschlämmverfahren als Schlämmgeschwindigkeit. Wenn wir beispielsweise sogleich nach dem Umschütteln und Umkehren die Zeit nach einer Sekundenuhr notieren und nach Ablauf von 100 Sekunden die Flüssigkeit mittels eines schon vorher bis zur unteren Marke eingesenkten und mit Wasser gefüllten Hebers (*a b c*) durch den am unteren Ende daran befindlichen Glashahn *c* aus dem Schlämmgefäß in ein untergestelltes Becherglas *B* ablaufen lassen, so haben die in dem abgehobenen Wasser befindlichen Bodenteilchen in 100 Sekunden noch nicht 200 mm zurückgelegt, d. h. in 1 Sekunde weniger als 2 mm. Die abgeschlämmte Substanz stellt demnach ein Schlämmprodukt von 2 mm Schlämmgeschwindigkeit in der Sekunde dar. Würde man erst nach Ablauf von 1000 Sekunden abheben, so wäre die Schlämmgeschwindigkeit bei 200 mm Fallhöhe 0,2 mm in 1 Sekunde.

Fig. 244.



Da nun bei dem soeben besprochenen Versuche die Bodenteilchen, welche sich gleich nach dem Umkehren des Zylinders beispielsweise in dessen mittlerem Raume befanden, beim Abheben des Wassers bereits zu Boden gesunken sein werden, so muß nach jedem Abheben das Gefäß wieder bis oben hin mit Wasser gefüllt und von neuem umgeschüttelt werden, worauf man nach Ablauf von 100 resp. 1000 Sekunden das Wasser

abermals abhebt und diese Operation so lange fortsetzt, bis das abgehobene Wasser völlig klar ist. Um den Zeitpunkt des Abhebens möglichst genau zu treffen, tut man gut, den mit Wasser gefüllten Heber schon zuvor in die Flüssigkeit einzusenken, so daß man nach Ablauf der Zeit nur den Glashahn zu öffnen braucht. Der Heber muß am unteren Ende des kürzeren Schenkels kurz nach oben umgebogen und so in die Flüssigkeit eingesenkt sein, daß das Ende des aufwärtsgebogenen Glasrohrs sich mit der aufgeklebten Marke in gleicher Horizontalebene befindet. Auf diese Weise kann nur das oberhalb der Marke befindliche Wasser in den Heber hineingelangen.

Wie vergleichende Untersuchungen mit dem Schöneschen Schlämmapparat gezeigt haben, kann man mittels der soeben beschriebenen Dekantiermethode sehr genaue Resultate erhalten. . Das Verfahren ist jedoch deshalb nicht zu empfehlen, weil man zur Abscheidung der gröberen Schlämmprodukte außerordentlich lange Zylinder anwenden müßte und weil auch die Gewinnung der feineren Schlämmprodukte sehr mühsam und zeitraubend ist. Man hat immerwährend mit dem Apparate zu tun und muß sehr häufig umschütteln und abheben, ehe man eine Klärung des Wassers im Schlämmraume erzielt.

Das Verfahren mit dem Kühnschen Schlämmzylinder (Fig. 245) ist ganz ähnlich, nur daß dieser 200 mm unter der oberen Wassermarke und 5 cm über dem Boden mit einem Ausfluß versehen ist, der sich vermittels eines Kautschukstopfens verschließen läßt. 50 g des durch Kochen erweichten Bodens werden in den Zylinder eingeführt, mit Wasser übergossen, bis dasselbe die obere Marke erreicht, und dann mit einem Holzstabe etwa 1 Minute gründlich und gleichmäßig umgerührt. Dann läßt man das Gefäß genau 5 Minuten lang ruhig stehen. In dieser Zeit setzen sich die Steinchen und der Sand ab, während die Tonteilchen in dem Wasser schweben bleiben, welches nun samt ihnen durch den Ausfluß abgelassen wird. Die Operation wird so lange wiederholt, als noch trübes Wasser ausfließt.

Fig. 245.



Der sandige Rückstand wird bei beiden Methoden in derselben Weise weiter behandelt wie das gröbere Rückstandsprodukt bei dem Schöneschen Schlämmapparate (s. u.).

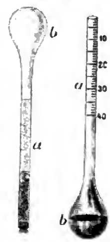
Die Bennigsensche Schlämmflasche. Ein Schlämmapparat, den wir seiner Einfachheit und Brauchbarkeit wegen hier noch berücksichtigen wollen, ist die Schlämmflasche von Bennigsen (Fig. 246). Der Apparat stellt eine Flasche dar, welche von den gewöhnlichen Flaschen in der Form dadurch abweicht, daß sie mit einem sehr langen zylinderförmigen Halse *a* versehen ist. An dem Halse befindet sich eine Maßein-

teilung, welche einen Teil des Flascheninhaltes nach Kubikzentimetern zu messen gestattet, sobald man die Flasche mit dem Kork nach unten dreht. Der Nullpunkt der Einteilung liegt demnach an dem Korkende.

Das Schlämmen mit dem Apparate ist ebenso einfach wie der Apparat selbst. Man wägt von der lufttrockenen, von den größeren Steinen und Pflanzenteilen befreiten Bodenprobe 10 g ab, zerteilt die Substanz wenn nötig durch Kochen oder Einweichen in Wasser und spült sie darauf mit so viel Flüssigkeit in die Flasche, daß deren weiterer Teil *b* nicht ganz angefüllt ist.

Nachdem die Flasche fest verkorkt worden, schüttelt man Wasser und Erde 10—20 Minuten lang tüchtig (ruckweise) durcheinander, um die Bodenbestandteile vollständig voneinander zu trennen, und dreht dann die Flasche um.

Fig. 246.



Das nun folgende Absetzen des Bodens unterstützt man eine Zeitlang (10 Minuten) durch pendelförmiges schnelles Hin- und Herbewegen des zylinderförmigen Teils der Flasche, zu dem Zwecke, die feineren Teilchen, welche von den gröberen, geschwinder fallenden Körnern mit hinabgerissen werden, von diesen letzteren zu befreien und so ein gleichmäßiges Absetzen einzuleiten. Darauf hängt man die Schlämmflasche möglichst genau senkrecht in ein Stativ und kann schon nach 1 Stunde das Resultat ablesen.

In dieser Zeit haben sich nämlich alle Bestandteile mit Ausnahme der feinsten abgesetzt, es lassen sich also letztere aus der Differenz berechnen. Man gelangt auf diesem Wege viel schneller zum Ziele, als wenn man das vollständige Absetzen und Zusammensacken der feinsten Teilchen abwarten wollte, da hierzu oft 24—36, zuweilen sogar 48 Stunden erforderlich sind.

Man liest also die Menge der einzelnen Bestandteile, die sich in dem nach unten hängenden Teil der Schlämmflasche nach ihrer Größe und Schwere geordnet haben (Fig. 246 links), in Kubikzentimetern ab, wobei man

1. Kies und groben Sand,
2. feinen Sand

ganz anschaulich vor Augen hat. Die Grenze zwischen 1 und 2, die wegen des allmählichen Überganges nicht immer scharf hervortritt, bestimmt man so genau als möglich.

Die für diese beiden Produkte gefundenen Maße werden alsdann auf Gewichte reduziert, indem man

bei grobem Sande 6,5 ccm = 10 g
bei feinem Sande 8,5 „ = 10 „

rechnet; das dritte Produkt, das abschlämmbare Material, ergibt sich aus dem Gewichte der zum Schlämmen verwandten Gesamtsubstanz abzüglich der für groben und feinen Sand erhaltenen.

Beispiel. Abgewogen 10 g Erde. — Nach dem Absetzen in der Schlämmflasche abgelesen, bezw. berechnet

1. Kies und grober Sand	= 2,5 ccm	= 3,8 g	oder	38 v. H.
2. Feiner Sand	= 3,0 „	= 3,5 „	„	35 „ „
3. Abschlämmbare Teile (aus der Differenz)		= 2,7 „	„	27 „ „
Summa . . .		10,0 g	oder	100 v. H.

Die in der letzten Reihe untereinander stehenden Zahlen sind Gewichtsprozente, die wir ermitteln mußten, weil wir von einem bestimmten Gewicht Erde ausgegangen sind. Es wäre einfacher, namentlich würde die Umrechnung der Maße in Gewichte wegfallen, wenn man die zum Schlämmen erforderliche Menge Erde abmessen könnte. Letzteres ist aber untunlich, weil sich bündige, brockige Erde nicht gleichmäßig messen läßt.

Fig. 247.



Der Clausensche Schlämmapparat. Auf demselben Prinzip wie die Bennigsensche Schlämmflasche beruht der Clausensche Schlämmapparat, doch liefert dieser genauere Resultate. Er besteht aus zwei Teilen, einem langhalsigen Kolben und einer langen sich unten verjüngenden Glasröhre, deren unterer Teil mit einer Skala versehen ist (Fig. 247). Der obere 75 cm lange Teil dieser Glasröhre hat eine lichte Weite von 2 mm und an ihre konische Verjüngung schließt sich der untere graduierte Teil von 25 cm Länge und 11 mm lichter Weite. In den Kolben werden 10 g lufttrockenen Feinbodens (unter 2 mm) eingefüllt und mit Wasser unter stetigem Umrühren und Schütteln eine halbe Stunde lang im Wasserbade gekocht. Nach dem Abkühlen wird der Kolben bis auf 2 cm vom oberen Rande des Halses mit Wasser gefüllt, während über seinen Rand ein Stück Kautschukschlauch gestülpt wird. Ebenso wird auch die unten mit einem Gummistopfen versehene Glasröhre ganz mit Wasser gefüllt und sodann mit dem Kolben verbunden, wobei die Ränder des Kolbenhalses und der Glasröhre sich eng berühren müssen. Nach nochmaligem Umschütteln wird der Kolben mit dem Halse nach unten senkrecht aufgestellt. Infolge der großen Fallhöhe trennen sich Ton und Sand verhältnismäßig schnell voneinander. Eine annähernde Schätzung des Ton- und Sandgehaltes gewährt bereits die Skala. Will man beide jedoch nach Gewichtsprozenten ermitteln, so trennt man den Kolben von der Glasröhre

und verschließt die Öffnung der letzteren mit dem Finger bei *a*. Das untere Ende *b* hält man nun über einen flachen Teller, entfernt den Stopfen und läßt durch Lüften des Fingers bei *a* den abgetrennten Sand langsam ausfließen. Die Erde kann man wie eine Wurst auf den Teller hinlegen, und wenn der Sand mit dem ersten Teile des Tones heraus ist, läßt man den Rest von Ton und Wasser in ein Becherglas laufen. Die am Kautschukstopfen haftenden Sandkörner werden dem Sande hinzugefügt und dieser auf dem Sandbade getrocknet. Wenn der Sand bereits trocken ist, der Ton aber noch eine Spur von Feuchtigkeit besitzt, lassen sich die an diesem haftenden Sandteile leicht mit einem weichen Pinsel von ihm trennen. Der getrocknete Sand wird gewogen und durch Siebe in verschiedene Korngrößen zerlegt. Aus der Differenz zu 10 g ergibt sich der Tongehalt.

Vergleichende Schlämmanalysen nach dieser und der Kühnschen Methode gaben gut übereinstimmende Resultate.

Fig. 248.

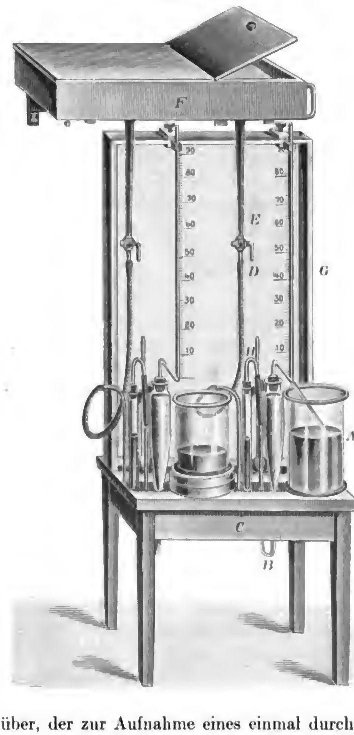


Der Schönesche Schlämmapparat. Der Schönesche Schlämmtrichter ist ein Spülapparat, bei welchem ein aus einem größeren hochgelegenen Wasserreservoir herabkommender, durch einen Hahn regulierbarer und im Schlämmraume senkrecht aufsteigender Wasserstrom benutzt wird. Während man bei dem Schlämmverfahren mittels der Dekantiermethode die durch den Fall im Wasser verlangsamte Schwerkraft benutzt, wendet man im Schöneschen Apparate einen der Schwerkraft entgegenwirkenden Stoß des Wassers nach oben zu an. Unter Schlämmgeschwindigkeit versteht man demnach im Schöneschen Apparate den Raum, durch welchen ein Bodenteilchen in 1 Sekunde gehoben wird. Die Länge dieses Raumes ist von dem Rauminhalt des Schlämmgefäßes, dem Querschnitt und spezifischen Gewicht des Bodenteilchens, sowie von der Geschwindigkeit des aufsteigenden Wasserstromes abhängig.

Der Schönesche zylindrisch-konische Schlämmtrichter (Fig. 248) besteht aus einem Glasgefäße, dessen oberer Teil *B* vollkommen zylindrisch und mindestens 10 cm lang sein muß, damit wenigstens im oberen Teil eine völlig gleichmäßige Stromgeschwindigkeit während des Abschlämmens herrscht. Der lichte Durchmesser dieses oberen Teiles soll nach Schöne möglichst genau 5 cm betragen. Um auch geringe Geschwindigkeiten genau einstellen zu können, darf dieser Durchmesser wenigstens nicht kleiner sein als 4,5 cm. An den zylindrischen schließt sich nach unten zu ein ganz allmählich sich verjüngender Teil *C* von 50 cm Länge. Dieser geht unten

in ein Rohr *D—E* über, dessen lichter Durchmesser in keinem Falle größer als 5 mm, aber auch nicht kleiner als 4 mm sein darf. Er ist halbkreisförmig gebogen und nach oben zu in senkrechter Richtung verlängert. Über dem zylindrischen Raume ist der Apparat eingezogen und geht in

Fig. 249.



einen Hals *A* über, der zur Aufnahme eines einmal durchbohrten Gummistopfens dient. Der 2 cm lange zylindrische Hals soll einen Durchmesser von 1,5—2 cm haben.

Durch den Kautschukstopfen wird das Piëzometerrohr hindurchgesteckt, welches als Indikator der Stromgeschwindigkeit dient. Es hat 3 mm lichten Durchmesser, ist 8 cm über seinem unteren Ende knieförmig im Winkel

von 45° abwärts und dann in gleicher Höhe mit dem unteren Ende wieder im Winkel von 45° aufwärts gebogen. In dem Scheitelpunkte des letzteren Knies befindet sich die etwa 1,5 mm weite kreisrunde Ausflußöffnung, deren Ränder möglichst glatt abgeschmolzen sein müssen. Das Piëzometer (Druckmesser) ist von 1—10 cm in Millimeter, von 10—50 cm in halbe Zentimeter, und darüber in ganze Zentimeter eingeteilt.

Damit der durch den Hahn zu regulierende Wasserstrom möglichst konstant bleibt, ist es nötig, als Reservoir einen geräumigen, flachen Kasten aus Zink zu benutzen, der 50 l Wasser fassen kann, und in welchem sich das Niveau während des Schlämmens nur wenig ändert.

Sehr zweckmäßig ist die in Figur 249 dargestellte Einrichtung zum Schlämmen.

Der zur Befestigung der Schlämmtrichter dienende Lattentisch *C* ist 71 cm hoch, 50 cm breit und 85 cm lang. Die Schlämmtrichter werden zwischen die Latten eingesenkt und in die Muffen eines mit schwerer Gußeisenplatte versehenen Stativs eingeschraubt. Die Platte des Stativs ist der Sicherheit halber durch eine eiserne Winkelklemmschraube an dem Lattentisch befestigt. Außerdem befindet sich an letzterem ein 140 cm hoher Holzrahmen *G*, der oben zwei verstellbare zur Unterstützung der Piëzometerrohre dienende Muffen trägt. Das rechts mit Wasserstandsrohr versehene Wasserreservoir *F* steht auf einem durch Bankeisen befestigten Brette. Die in den Boden des Reservoirs eingeschraubten und mit Messinghähnen *D* versehenen Zuleitungsröhren *E* werden durch Kautschukschlauch mit den Schlämmtrichtern verbunden.

Die Schlämmgeschwindigkeit in dem zylindrischen Raume des Schöneschen Schlämmtrichters *B* ist bei bestimmter Druckhöhe von dem Querschnitte des Zylinders und von der Größe der Ausströmungsöffnung am Piëzometer abhängig. Es ist daher zuerst nötig, den Durchmesser des zylindrischen Schlämmraumes genau zu bestimmen. Man teilt zu diesem Zwecke den Zylinder durch zwei äußerlich aufgeklebte Papierstreifen ein. Eine durch den oberen Rand der beiden Papierstreifen gelegte Ebene muß möglichst senkrecht gegen die Achse des Zylinders stehen; der Abstand der beiden Papierstreifen betrage 10 cm. Man füllt nun den ganzen Zylinder mit Wasser, verschließt das Ende der Röhre *E* derartig mit einem Korke, daß keine Luftblase darin bleibt, und läßt den unteren Meniscus des Wassers im zylindrischen Raume auf dem oberen Rande des oberen Papierstreifens aufsitzen; die Achse des Zylinders muß dabei möglichst senkrecht stehen. Nun hebt man mit einer Pipette das Wasser aus dem Zylinder bis zum oberen Rande des unteren Papierstreifens ab und bringt es in ein in Kubikmillimeter geteiltes Meßgefäß.

Der Inhalt (J) eines Zylinders ist bekanntlich gleich dem Produkte von Grundfläche ($r^2\pi$) und Höhe (h).

$$J = r^2 \pi \, . \, h$$

$$r = \sqrt{\frac{J}{\pi h}} \, .$$

Nachdem nun der Querschnitt des zylindrischen Teiles im Schlämmtrichter bekannt ist, stellt man das Wasser auf eine bestimmte Höhe im Piëzometer ein und läßt eine Maßflasche, beispielsweise ein Liter, volllaufen, indem man von dem Momente des Unterstellens bis zu dem Momente der Füllung nach einer Sekundenuhr die Anzahl der Sekunden t notiert. Das ausgeflossene Quantum (Q) in 1 Sekunde ist dann:

$$Q = \frac{x \text{ mm}^3}{t} \, .$$

Die Schlämmgeschwindigkeit erhält man, wenn man das Ausflußquantum in 1 Sekunde in Kubikmillimetern (Q) durch den Querschnitt des Zylinders in Quadratmillimetern (K) dividiert:

$$\frac{\left(\frac{x \text{ mm}^3}{t}\right)}{r^2 \pi} = \frac{Q}{K} \, .$$

Will man eine ganz bestimmte Schlämmgeschwindigkeit haben, so stellt man zuerst bei einem höheren Punkte des Piëzometers ein, berechnet aus dem Ausflußquantum in 1 Sekunde die Geschwindigkeit und sieht nun, ob sich dieselbe bereits der gewünschten Geschwindigkeit nähert oder nicht. Je nachdem stellt man bei dem darauf folgenden Versuche bei einer höheren oder niedrigeren Marke des Piëzometers ein.

Bei Anwendung ganz geringer Schlämmgeschwindigkeiten stellt sich, da an der Ausflußöffnung des Piëzometers nur ein Abtropfen der Flüssigkeit stattfindet, der Wasserfaden bei keiner festen Marke ein. Man wählt in diesem Falle den Punkt, bis zu welchem der Meniskus des Wasserfadens im Piëzometer beim Abtropfen herabsinkt, als Marke und zählt außerdem die Anzahl der in 1 Minute ausfließenden Tropfen. Zur Berechnung des Ausflußquantums in 1 Sekunde genügt es, eine Maßflasche von 100 ccm Inhalt volllaufen zu lassen. Durch einige Versuche, bei welchen man den Wasserstand im Piëzometer so reguliert, daß immer die Mitte zwischen den beiden zuletzt bestimmten Grenzen genommen wird, erreicht man leicht den Wasserstand, welcher der gesuchten Schlämmgeschwindigkeit entspricht.

Statt dieser empirischen Aufsuchung einer bestimmten Schlämmgeschwindigkeit kann man letztere auch unter Zugrundelegung des in Zentimeter eingeteilten Piëzometers berechnen.

Nach dem theoretischen Ausflußgesetze verhalten sich bei ein und demselben Piëzometer, demnach für ein und dieselbe Ausflußöffnung die

Ausflußquantitäten wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen im Piëzometer. Werden die Druckhöhen mit h_I und h_{II} bezeichnet, die Ausflußquanta in 1 Sekunde mit Q_I und Q_{II}, so ergibt sich die Gleichung:

$$(1) \qquad \frac{h_I}{h_{II}} = \frac{Q_I^2}{Q_{II}^2}.$$

Das Ausflußgesetz ist in diesem Falle etwas zu modifizieren, da die Kapillarattraktion in dem engen Piëzometerrohr, sowie auch der Widerstand, welchen das Wasser beim Ausströmen aus der engen Ausflußröhre erleidet, den Wasserstand im Piëzometer beeinflussen. Nach Schönes Untersuchungen muß man daher, um jene Einflüsse zu eliminieren, von der beobachteten Druckhöhe h eine für alle Druckhöhen desselben Piëzometers empirisch festzustellende konstante Größe C abziehen.

Dadurch modifiziert sich die Gleichung Nr. 1 folgendermaßen:

$$(2) \qquad \frac{h_I - C}{h_{II} - C} = \frac{Q_I^2}{Q_{II}^2}.$$

Um die konstante Größe C zu ermitteln, genügt es, zwei Versuche auszuführen, indem man einmal bei möglichst niedriger Druckhöhe (2 bis 3 cm) und sodann bei möglichst hoher Druckhöhe (80—90 cm) ein Liter voll laufen läßt, die Anzahl der Sekunden notiert und die Ausflußquanta in 1 Sekunde berechnet. Setzt man die erhaltenen Daten in die Formel Nr. 2 ein, so ergibt sich folgende Formel:

$$(3) \qquad C = \frac{Q_I^2 \,.\, h_{II} - Q_{II}^2 \,.\, h_I}{Q_I^2 - Q_{II}^2} \text{ Zentimeter}$$

Hat man auf diese Weise die konstante Größe C gefunden, so kann man für alle beliebigen Druckhöhen h_n die entsprechenden Ausflußquantitäten Q_n oder auch für alle beliebigen Ausflußquantitäten die entsprechenden Druckhöhen berechnen.

Aus der Formel Nr. 3 ergeben sich:

$$(4) \qquad Q_n = \sqrt{h_n - C} \,.\, \frac{Q}{\sqrt{h - C}} \text{ Kubikzentimeter.}$$

$$(5) \qquad h_n = Q_n^2 \,.\, \frac{h - C}{Q^2} + C \text{ Zentimeter.}$$

Da die Ausflußmengen in 1 Sekunde Q auch in derselben Zeit einen beliebigen Querschnitt des Schlämmraumes durchströmen, dessen Durchmesser D ist, so folgt daraus, wenn v die Schlämmgeschwindigkeit in 1 Sekunde bedeutet:

$$(6) \qquad Q = v \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \text{ Zentimeter.}$$

$$(7) \qquad v = Q \cdot \frac{4}{\pi D^2} \text{ Zentimeter.}$$

Man kann demnach, wenn die konstante Größe C durch Versuche festgestellt worden ist und man die Geschwindigkeit v im Schlämmraum bei einer bestimmten Druckhöhe h kennt, leicht berechnen, welche Druckhöhe h_n man anwenden muß, um eine gesuchte Geschwindigkeit v_n zu erhalten. Man braucht in diesem Falle nur den Wert für Q aus der Formel Nr. 6 und den entsprechenden Wert für $Q_n = v_n \frac{\pi}{4} D^2$ in die Formel Nr. 5 einzusetzen. Dadurch erhält man:

$$(8) \quad h_n = \left(v_n \frac{\pi}{4} D^2\right)^2 \frac{h - C}{\left(v \cdot \frac{\pi}{4} D^2\right)^2} + C = v_n^2 \cdot \frac{h - C}{v^2} + C$$

Bestimmten Schlämmgeschwindigkeiten entsprechen ganz bestimmte Korngrößen bei annähernd gleichem spezifischen Gewicht und kugeliger Form des Materials. S c h ö n e hat durch Versuche festgestellt, daß innerhalb der Schlämmgeschwindigkeiten von 0,1—12 mm in der Sekunde bei Quarzsand in Kugelform folgende Beziehung zwischen dem Durchmesser der Körner d und der Schlämmgeschwindigkeit v besteht:

$$d = 0{,}0314\, v^{\frac{7}{11}} \text{ Millimeter.}$$

Aus seinen durch mikroskopische Messungen kontrollierten Berechnungen geht hervor, daß, wenn man von Quarz in Kugelform ausgeht, die nebenstehenden Körnungsprodukte folgenden Schlämmgeschwindigkeiten entsprechen:

0,2	mm	Schlämmgeschwindigkeit	=	unter	0,01	mm Korngröße
2,0	„	„	=	von	0,05—0,01	„ „
7,0	„	„	=	„	0,1—0,05	„ „

Da bei der Enge der Ausflußöffnung im Piëzometer die Geschwindigkeit 7 mm nur erreicht werden könnte, wenn man ein zweites Piëzometer mit weiterer Ausflußöffnung einführte, so hat O r t h den Vorschlag gemacht, einen kleinen Hilfszylinder vom halben Durchmesser (2,5 cm) des größeren vor letzterem einzuschalten. Es ist zweckmäßig, wenn dessen zylindrischer Teil 50 cm lang ist, um ihn auch für die Geschwindigkeit von 25 mm benutzen zu können.

Da die Herstellung eines genauen Siebes von 0,2 mm sehr schwierig und teuer ist und das Absieben des Bodens durch ein derartiges Sieb keine guten

Resultate liefert, weil sich die Löcher zu leicht verstopfen, so empfiehlt es sich nach Laufers Vorschlage, die Korngröße 0,2—0,1 mm ebenfalls durch Abschlämmen zu gewinnen. Man benutzt hierzu den Orthschen Hilfszylinder, indem man ein Piëzometer von etwa 5 mm lichtem Durchmesser und einer Ausflußöffnung von 3—3,5 mm darauf setzt. Den Querschnitt des Zylinders bestimmt man in der angegebenen Weise und mißt die Ausflußmengen bei verschiedenem Piëzometerstande, um die Geschwindigkeit 25 mm zu ermitteln, denn diese entspricht der Korngröße von 0,2 bis 0,1 mm Durchmesser. Hat man die gewünschten Geschwindigkeiten in den verschiedenen Schlämmtrichtern festgestellt, so fertigt man sich eine Tabelle nach folgendem Schema an, die man dann für alle mit dem Apparate auszuführenden Schlämmanalysen benutzt:

Großer Trichter		Kleiner Trichter	
Durchmesser: mm Querschnitt: mm²		Durchmesser: mm Querschnitt: mm²	
Druckhöhe im engen Piëzometer cm	Geschwindigkeit in 1 Sekunde	Druckhöhe im engen Piëzometer cm	Geschwindigkeit in 1 Sekunde
	0,2 mm		
	0,2 mm		
			7,0 mm
		Druckhöhe im weiten Piëzometer cm	25,0 mm

Bei Ausführung einer Schlämmanalyse wendet man den durch das 2 mm-Sieb gegebenen lufttrocknen Feinboden an. Man breitet ihn gleichmäßig auf einem Bogen Papier aus und entnimmt eine Durchschnittsprobe von genau 100 g, die man in einer tarierten Schale auf einer Tarierwage abwägt. Bei sehr gleichmäßigen, fein zerteilten Bodenarten, bei welchen ein Absieben der gröberen Gemengteile zuweilen gar nicht vorgenommen zu werden braucht, genügen dagegen schon 30—40 g zur Schlämmanalyse.

Die in einer Porzellan- oder emaillierten Eisenschale abgewogene Bodenmenge übergießt man mit destilliertem Wasser und kocht sie unter fortwährendem Umrühren mit einem Glasstabe so lange, bis die tonigen Bestandteile vollständig zergangen sind. Bei zähen Tonböden bleiben häufig Tonknötchen zurück, die selbst bei anhaltendem Kochen nicht zergehen, und man tut daher gut, sie mit dem Zeigefinger, den man zweckmäßig mit

einem dicken Kautschuküberzuge versieht, zu zerdrücken. Das so zum Schlämmen vorbereitete Material läßt man völlig erkalten und gießt die überstehende trübe Flüssigkeit, ohne den Bodensatz aufzurühren, in den großen Trichter ab. Nun füllt man den kleinen Trichter, welcher noch nicht mit dem großen in Verbindung gesetzt ist, durch Öffnen des Hahnes bis über die halbkreisförmige untere Biegung mit Wasser an. Dies geschieht deshalb, damit der Apparat beim Einfüllen des Bodens durch Aufsteigen des letzteren in dem engen Rohre nicht verstopft wird, und zweitens, damit beim Beginn des Schlämmprozesses durch aufsteigende Luftblasen keine Fehler entstehen können. Um den Boden in den kleinen Schlämmapparat einzufüllen, setzt man am besten einen Trichter mit weitem Halse darauf und spritzt mit Hilfe einer Spritzflasche die Substanz aus der Schale heraus. Etwa anhaftende Teile werden mittels eines Glasstabes, über dessen unteres Ende man ein Stückchen Kautschukschlauch gezogen hat, abgelöst.

Beabsichtigt man, mit den Schlämmprodukten bei 0,2 und 2,0 mm Geschwindigkeit weitere chemische Untersuchungen vorzunehmen, so muß man den Boden mit destilliertem Wasser abschlämmen. Es geschieht dies deshalb, weil man bei Gewinnung des Schlämmproduktes bei 0,2 mm Geschwindigkeit das Schlämmwasser eindampfen muß. Man würde also bei Anwendung von gewöhnlichem Wasserleitungswasser zu viel Verunreinigungen in das Untersuchungsmaterial hineinbringen. Das Schlämmprodukt von 0,2 mm Geschwindigkeit kann man nur in dem Falle mit gewöhnlichem Wasser abschlämmen, wenn man es nicht wägen, sondern aus dem Verluste berechnen will.

Nachdem man den Boden in den kleinen Trichter eingefüllt hat, öffnet man den zur Regulierung des Wasserstroms bestimmten Hahn ein wenig und stellt zuerst bei dem Stande im Piëzometerrohre ein, welcher der niedrigsten Schlämmgeschwindigkeit von 0,2 mm entspricht. Nun läßt man zunächst 2—3 l auslaufen und dampft diese, falls man das Schlämmprodukt gewinnen will, in einer großen Porzellanschale auf dem Wasserbade ein. Auf diese Weise kann man sicher sein, alle im Wasser löslichen Bestandteile des Bodens mitzuerhalten. Hat sich das Wasser im Schlämmraume des großen Trichters nach Ablauf von 2—3 l noch nicht geklärt, so schlämmt man, ohne die Operation zu unterbrechen, bei derselben Geschwindigkeit weiter, bis fast vollständige Klärung im oberen Teile des Schlämmraumes erfolgt. Das so erhaltene Schlämmwasser bringt man in eine große Porzellanschale und erhitzt es bis zum Kochen. Durch längeres Kochen ballen sich die suspendierten Tonteilchen zusammen und setzen sich zu Boden, so daß man nach dem Erkalten und längerem Stehenlassen das überstehende, fast klare Wasser abhebern und fortgießen kann. Den Bodensatz fügt man zu dem zuerst erhaltenen Schlämmprodukt hinzu.

Den weiteren Schlämmprozeß kann man in vielen Fällen mit gewöhn-

lichem Leitungswasser fortsetzen, da die übrigen Schlämmprodukte sich leicht absetzen, so daß man das überstehende Wasser fast völlig abhebern kann. Man wäscht dann das Schlämmprodukt noch einige Male mit destilliertem Wasser aus, läßt absitzen und hebert das Wasser ab.

Es hängt von dem Verhältnis der Querschnitte der beiden Schlämmzylinder ab, welche Geschwindigkeit man zunächst anzuwenden hat. Tritt die Geschwindigkeit 7,0 mm im kleinen Trichter bei einem höheren Piëzometerstande auf, als die Geschwindigkeit 2,0 mm im großen, so stellt man zuerst bei dem Piëzometerstande ein, bei welchem im großen Trichter eine Geschwindigkeit von 2,0 mm herrscht, im umgekehrten Falle jedoch schlämmt man zuerst bei 7,0 mm im kleineren und stellt dann erst nach dessen Ausschaltung höher ein, um 2,0 mm im großen Trichter zu erreichen.

Die Schlämmprodukte fängt man stets in großen zylindrischen Glasgefäßen auf, die 10—15 l zu fassen vermögen. Nachdem bei 7,0 mm Geschwindigkeit Klärung im kleinen Trichter eingetreten ist, setzt man das weite Piëzometer (vgl. S. 524) auf den kleinen Trichter auf und schlämmt bei 25 mm Geschwindigkeit bis zur völligen Klärung.

Durch den Schlämmprozeß hat man also folgende Produkte erhalten (die Zahlen beziehen sich auf die Tabelle auf der folgenden Seite):

8. Schlämmprodukt	bei	0,2	mm	G.	Ausfluß
7. „	„	2,0	„	„	desgl.
6. „	„	7,0	„	„	Rückstand im großen Trichter (event. auch zum Teil Ausfluß)
5. „	„	25,0	„	„	Ausfluß
4. „	„	25,0	„	„	Rückstand im kleinen Trichter.

Die beiden Schlämmrückstände (6 und 4) bringt man am besten aus den Schlämmtrichtern heraus, indem man letztere mit dem Wasserreservoir in Verbindung setzt, sie in eine große Schale umstürzt und durch Öffnen des Hahnes ihren Inhalt völlig herausspült.

Die Schlämmprodukte werden, nachdem das überstehende klare Wasser abgehebert worden ist, in kleine, zuvor gewogene Porzellanschälchen mit flachem Boden gebracht und auf einem bis auf etwa 100° C. geheizten Sandbade anhaltend getrocknet. Nach dem Erkalten läßt man die Schälchen mindestens 1—2 Tage lang stehen, ehe man sie wägt, damit die Schlämmprodukte wieder den Feuchtigkeitsgehalt der Zimmerluft annehmen.

Um die mechanische Zusammensetzung eines Bodens hinreichend zu charakterisieren und mit anderen Bodenarten vergleichen zu können, zerlegt man ihn in folgende Produkte:

1. Körner	größer als	2	mm	Durchmesser
2. „	von	2—1	„	„
3. „	„	1—0,5	„	„

4. Körner von 0,5—0,2 mm Durchmesser
5. „ „ 0,2—0,1 „ „
6. „ „ 0,1—0,05 „ „
7. „ „ 0,05—0,01 „ „
8. „ kleiner als 0,01 „ „

Die Korngrößen Nr. 1—3, also bis zu 0,5 mm, erfahren wir durch Absieben durch die Siebe von 2, 1 und 0,5 mm Lochweite, alle übrigen Körnungsprodukte werden durch die Schlämmanalyse abgeschieden.

Bei Ausführung der mechanischen Analyse geht man gewöhnlich von dem lufttrocknen Gesamtboden aus. Man breitet den Boden auf einem Bogen Papier oder auf einer flachen Schale aus und entnimmt eine gute Durchschnittsprobe von 500—1000 g, welche man in einer Porzellanschale abwägt. Zur Wägung sämtlicher durch Absieben und Abschlämmen erhaltenen Körnungsprodukte des Bodens, sowie auch für die physikalischen Versuche benutzt man zweckmäßig eine genauere Tarierwage. Die abgewogene für die Körnung bestimmte Menge gibt man in trockenem Zustande durch das 2 mm-Sieb und zerdrückt mit den Fingern die zusammengeballten Teilchen des feineren Bodenmaterials.

Die durch Körnung und Schlämmung erhaltenen Produkte berechnet man prozentisch auf den Gesamtboden und trägt die Zahlen in folgendes Schema ein:

Kies über 2 mm D.	Sand					Tonhaltige Teile		Summa
						Staub	Feinstes	
	2 bis 1 mm	1 bis 0,5 mm	0,5 bis 0,2 mm	0,2 bis 0,1 mm	0,1 bis 0,05 mm	0,05 bis 0.01 mm	unter 0.01 mm	
2,4	71,0					26,7		100,1
	2,0	3,6	16,0	32,3	17,1	12,4	14,3	

Etwaige Fehler beim Schlämmen mit dem Schöneschen Apparate werden nach Wahnschaffes Erfahrungen vermieden, wenn man den Schlämmprozeß möglichst ununterbrochen und gleichmäßig ausführt. Verschiedene Kontrollversuche haben ergeben, daß die Methode hinreichend genaue Resultate liefert.

Kapitel 58.

Die chemische Bodenanalyse.

Die Bestimmung der Bodenkonstituenten.

Da dieses Werk schon seinem Umfange nach nicht geeignet sein kann, ein Lehrbuch der analytischen Chemie zu ersetzen, die Methoden der landwirtschaftlichen, chemischen Bodenuntersuchung aber zum größten Teile die gleichen sind, die in jener zur Anwendung gelangen, so muß ich mich hier auf einige wichtigere und eigenartige Untersuchungsmethoden beschränken. Ich werde deshalb nacheinander einige Methoden zur Feststellung folgender wichtiger Bodenbestandteile besprechen:

1. des kohlensauren Kalkes,
2. des Sandes,
3. des Humus,
4. der Tonsubstanz,
5. der Pflanzennährstoffe,

und daran einige Methoden zur Feststellung ganz besonderer chemischer und physikalischer Eigenschaften des Bodens anschließen.

1. Die Bestimmung der Karbonate im Boden. Die Bedeutung des Mergels für die Landwirtschaft zeigt den hohen Wert, welchen die kohlensauren Salze der Kalkerde und Magnesia für den Boden besitzen. Die einfachste Methode zur Bestimmung des kohlensauren Kalkes, deren Ausführung kaum etwas anderes, als eine kleine Handwage mit Hornschälchen erfordert, auf welcher man bis auf $^1/_{100}$ g Genauigkeit abwägen kann, ist die folgende: Rohe, konzentrierte, käufliche Salzsäure verdünnt man mit der doppelten Menge Wasser und füllt von dem gut geschüttelten Gemische in zwei Gläser eine Menge von je 100 ccm ein; zum Abmessen bedient man sich eines nach Kubikzentimetern eingeteilten Meßzylinders. Alsdann bringt man in das eine Gefäß 10 g des zu untersuchenden Bodens, den man vorher durch Zerdrücken oder Zerreiben möglichst gelockert hat.

Unter lebhafter Kohlensäureentwicklung wird der im Boden enthaltene kohlensaure Kalk zerstört und in Chlorcalcium verwandelt. Ist die Gasentwicklung beendet, so legt man in jedes der beiden Gefäße ein 30—50 g schweres Stück von kristallinischem Kalke, am besten Marmor, von dem man Abfallstücke bei jedem Bildhauer bekommen kann. Die beiden Marmorstücke müssen vollkommen gleiches Gewicht haben; man erreicht dies, nachdem man mit dem Hammer möglichst gleich schwere Stücke geschlagen hat, durch Abschaben des schwereren Stückes mit einem Messer. Die beiden Marmorstücke läßt man so lange in den beiden Gefäßen mit Salzsäure liegen, bis die Kohlensäureentwicklung völlig

aufhört, ein Zeichen, daß die Salzsäure vollkommen verbraucht ist. Nun nimmt man die beiden Marmorstücke aus der Flüssigkeit heraus, wäscht sie gut ab, trocknet sie in der Wärme und wägt sie nach dem Erkalten. Der Unterschied im Gewichte gibt, da beide Gefäße ja ursprünglich gleiche Salzsäuremengen enthielten, den Gehalt an Kalkkarbonat in dem untersuchten Boden an, und zwar entsprechen die so ermittelten Dezigramme dem Prozentgehalte.

Beispiel. Nachdem der Kalkgehalt von 10 g Wiesenmergel in dem einen Gefäße aufgelöst ist, lege ich in jedes Gefäß ein Stück Marmor im Gewichte von 50 g. Nach Beendigung der Gasentwicklung wiegt das eine Stück noch 25 g, das andere dagegen noch 33,2 g. Der Gewichtsunterschied beider beträgt also 8,2 g, der Kalkgehalt des Wiesenmergels also 82 v. H.

Eine andere einfache Methode beruht auf der Bestimmung des Gewichtsverlustes, den die zu untersuchende Substanz + der verwendeten Salzsäure durch das Entweichen der Kohlensäure erfährt. Zu diesem Zwecke wird von dem lufttrockenen Boden eine kleine Menge in einem Mörser von Porzellan oder Achat (zur Not tut's auch ein gewöhnlicher Küchenmörser) fein zerstoßen und von der gepulverten Erde ein bestimmtes Gewicht auf einem sauberen und trockenen Uhrglas genau abgewogen. Bei kalkärmerem Boden nimmt man 5 g, bei kalkreichem 1—3 g.

Alsdann wird in ein gewöhnliches, aber ebenfalls sauberes und trockenes Medizinfläschchen mit Hilfe eines Glastrichters so viel Salzsäure gegossen, daß dieselbe reichlich 1 cm hoch in dem Fläschchen steht[1]). Die Salzsäure soll zu einem Drittel aus konzentrierter Salzsäure und zu zwei Dritteln aus Wasser bestehen. So gefüllt kommt das Fläschchen, nach Beseitigung des Trichters, auf die Wage. Man wägt wiederum genau und notiert das Gewicht.

Nun tut man die Erde nach und nach von dem Uhrglas in das Fläschchen, indem man immer eine ganz kleine Messerspitze voll nimmt und sorgfältig darauf achtet, daß nichts von der Erde verstäubt, auch nichts an dem Hals des Fläschchens hängen bleibt. Schüttet man zu viel Erde auf einmal hinein, so spritzt die Flüssigkeit in feinen Perlen heraus oder schäumt wohl gar über und die Arbeit ist vergebens. Von Zeit zu Zeit wird das Fläschchen vorsichtig bewegt, damit die Salzsäure überall mit dem Kalk in Berührung treten und die Kohlensäure vollständig austreiben kann. Die letzte Erde wird mit einem zugestutzten Federbart oder mit einem kleinen Pinsel, der

[1]) Das Fläschchen darf nicht zu groß sein, sonst ist es zu schwer, es darf aber auch nicht zu klein sein, sonst schäumt die Salzsäure über. Man wähle also ein Fläschchen von 12 cm Höhe und 5—6 cm Weite, und achte auch darauf, daß der Hals kurz und weit ist. Bequemer und sicherer ist ein Erlenmeyersches Kochfläschchen, das bei 13 cm Höhe über dem Boden 8 cm weit ist.

wiederum ganz sauber und trocken sein muß, auf dem Uhrglas zusammengekehrt und auch die Messerspitze abgeputzt, denn die Aufgabe ist die, daß die abgewogene Bodensubstanz ohne den geringsten Verlust in das Fläschchen gelangt. Ist dies glücklich erreicht, so wartet man einige Zeit, damit der Schaum sich setzen und die Kohlensäure aus dem Fläschchen entweichen kann. Dann wird das Fläschchen wieder genau gewogen. Das übrige ergibt sich durch Rechnung.

Zum Beispiel:

		g
1. Wägung:	Uhrglas	= 6,51
2. Wägung:	Uhrglas + Erde	= 11,86
	folglich Erde netto	= 5,35
3. Wägung:	Fläschchen + Salzsäure	= 81,99
4. Wägung:	Fläschchen + Salzsäure + Erde	= 87,02.

Die 4. Wägung ergibt weniger, als das Fläschchen mit der Salzsäure und der unveränderten Erde wiegen würde. Nämlich:

$$5{,}35 + 81{,}99 = 87{,}34$$
$$\text{4. Wägung} = 87{,}02$$
$$\text{Differenz} = 0{,}32.$$

Diese 0,32 g entsprechen dem Gewicht der Kohlensäure, welche durch die Salzsäure aus der Bodensubstanz ausgetrieben worden ist. Nimmt man an, daß diese Kohlensäure mit Kalkerde verbunden war, so läßt sich das Gewicht des Kalkes berechnen. Es bestehen nämlich 100 Teile Kalk aus 44 Teilen Kohlensäure und 56 Teilen Kalkerde. Folglich haben wir anzusetzen:

$$44 : 56 = 0{,}32 : x$$
$$x = 0{,}40.$$

Das heißt: 0,32 g Kohlensäure verbinden sich mit 0,40 g Kalkerde zu 0,72 g Kalk. Wir haben also 0,72 g Kalk in 5,35 g Bodensubstanz gefunden. Um die Prozentzahl zu berechnen, machen wir den Ansatz:

$$5{,}35 : 0{,}72 = 100 : x$$
$$x = 13.$$

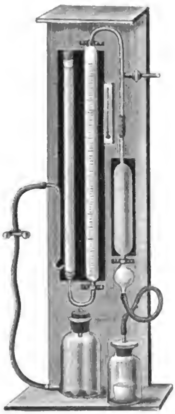
Also enthält der untersuchte Boden 13 Prozent Kalk.

Außerordentlich bequem und zuverlässig ist das Arbeiten mit dem Scheiblerschen Apparate, wenn es darauf ankommt, den Kalkgehalt von daran nicht zu armen Gebilden rasch bis auf $\frac{1}{4}$—1 Prozent Genauigkeit zu erfahren. Man verwendet als Ausgangsmaterial den bei 100° C. getrockneten Feinboden oder, falls keine Körner über 2 mm Durchmesser

vorhanden sind, direkt den Gesamtboden. Die Substanz ist in einem Gußstahlmörser ziemlich fein zu pulvern.

Der Scheiblersche Apparat (Fig. 250) besitzt folgende Einrichtung: zwei Glasrohre von 28 mm lichtem Durchmesser sind an einem Holzstativ in senkrechter Richtung befestigt. Das Rohr, welches der Beschauer zur Rechten hat, besitzt eine Teilung in ganze und halbe Kubikzentimeter. Es ist gut, wenn diese bis zu 300 ccm durchgeführt ist. Unten sind die beiden Rohre mittels eingefügter Gummistopfen durch eine halbkreisförmige Glasröhre miteinander in Verbindung gesetzt. Das Rohr links ist oben offen, wird aber, damit kein Staub hineinfällt, mit einem Wattepfropfen geschlossen. Von diesem Rohre geht unten eine Glasröhre ab, welche nach aufwärts gebogen ist und durch einen mit Quetschhahn versehenen Kautschukschlauch mit einer offenen Flasche, die unten mit Tubus versehen ist, in Verbindung steht. Der Schlauch muß so lang sein, daß man die Flasche bequem auf das über dem Stativ befindliche Brettchen setzen kann. Das graduierte Glasrohr rechts ist oben in eine Röhre ausgezogen und durch eine Kautschukverbindung mit einem nach unten zu umgebogenen Glasrohr verbunden. Letzteres hat rechts seitwärts ein Ansatzrohr mit Glashahn und an seinen unteren Teil schließt sich ein spindelförmig erweitertes Rohr an, welches dazu dient, die entwickelte Kohlensäure aufzunehmen, damit sie nicht in das graduierte Rohr hineinsteigen und von dem darin befindlichen Wasser absorbiert werden kann. Mit dem unteren Ende der Glasspindel wird durch einen Kautschukschlauch das Entwicklungsgefäß verbunden, eine einfache Glasflasche mit weitem Halse, in welchen ein mit Rohr versehener Kautschukstopfen genau hineinpaßt.

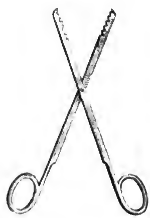
Fig. 250.



Bei dem Gebrauch des Apparats stellt man die mit Wasser gefüllte Glasflasche oben auf das Brett über dem Holzstativ und läßt, während der Glashahn rechts geöffnet ist, die beiden Rohre bis über die Teilung hinaus volllaufen. Darauf setzt man die Flasche herunter und läßt durch behutsames Öffnen des Quetschhahnes allmählich so viel Wasser ablaufen, daß der untere Meniscus des Wasserspiegels im graduierten Rohre genau auf dem Nullstriche aufsitzt. In den beiden kommunizierenden Rohren wird sich das Wasser im gleichen Niveau einstellen. Um immer annähernd die gleiche Tension des Wasserdampfes zu haben, schwenkt man die Entwicklungsflasche kurz vor dem Gebrauch mit einer konzentrierten Kochsalzlösung aus. Darauf bringt man in die Flasche mittels einer Pipette 20 ccm

Chlorwasserstoffsäure hinein, welche auf 1 Teil konzentrierte Säure 3 Teile Wasser enthält. Mit Hilfe einer geraden Tiegelzange (Fig. 251) setzt man nun ein kleines Porzellantiegelchen, in welchem sich etwa 4—8 g[1]) der zu untersuchenden Substanz befinden, vorsichtig in die Salzsäure hinein und drückt den Kautschukstopfen fest in den Hals der Flasche, jedoch ohne den Entwicklungsraum mit der warmen Hand zu berühren. Nun schließt man den Glashahn oben rechts und läßt etwa 20 ccm Wasser durch Öffnen des Quetschhahns abfließen. Dies geschieht deshalb, weil beim Umstürzen des Tiegelchens im Entwicklungsgefäße sogleich eine so starke Kohlensäureentwicklung stattfindet, daß das Wasser aus dem Rohre links herausgeschleudert werden würde. Nach dem Ablassen der 20 ccm Wasser wird das Niveau im Rohre rechts etwas sinken, sich jedoch bei einem dem verminderten Drucke entsprechenden Punkte fest einstellen. Sollte dies nicht der Fall sein, so würde der Apparat an irgend einer Stelle undicht sein. Nun ergreift man mit der linken Hand den Quetschhahn und faßt mit der rechten Hand die Entwicklungsflasche derartig, daß man den Daumen gegen den Hals links, den Zeigefinger oben auf den Kautschukstopfen und den Mittelfinger gegen den Hals rechts legt. Auf diese Weise kann man das Gefäß sehr fest halten und vermeidet eine Erwärmung durch die Hand. Man neigt die Flasche, bis der Porzellantiegel umfällt, und setzt sie darauf in eine kreisförmig schüttelnde Bewegung. Während der Kohlensäureentwicklung läßt man durch Öffnen des Quetschhahns immer so viel Wasser abfließen, als das Niveau im Rohre rechts sinkt. Das Entwicklungsgefäß wird so lange geschüttelt, bis das Niveau im Rohre rechts konstant bleibt. Darauf läßt man den Apparat 10 Minuten lang ruhig stehen, schüttelt nochmals, stellt das Wasser in den Rohren auf gleiches Niveau ein und liest dann die Anzahl der entwickelten Kubikzentimeter Kohlensäure ab. Unter Berücksichtigung der Temperatur und des jeweiligen Barometerstandes berechnet man das Gewicht der Kohlensäure oder des ihr entsprechenden Calciumkarbonats nach den von R. Finkener berechneten Tabellen (S. 534 u. 535), in welchen das Gewicht eines Kubikzentimeters Kohlensäure bei den verschiedenen Temperaturen und Barometerständen in Tausendstelmilligrammen angegeben ist. In diese Zahl ist zugleich der Fehler eingerechnet, welcher dadurch entsteht, daß das Gas in feuchtem

Fig. 251.



[1]) Für alle chemischen Untersuchungen benutzt man zweckmäßig eine Bungesche analytische Wage neuester Konstruktion für 200 g Maximalbelastung, welche von Th. Herzberg (Paul Bunges Nachfolger) in Hamburg, Ottostr. 13 (Eilbeck) für 30 M. zu beziehen ist. Dazu ein Gewichtssatz von 200 g für 40 M.

I. Tabelle zur Berechnung der Kohlensäure für den Scheiblerschen Apparat.

Die Zahlen geben das Gewicht von 1 ccm Kohlensäure in Tausendstelmilligramm an.

Barometer mm	742	744,5	747	749	751	753,5	756	758	760	762,5	765	767	769	771	774
Pariser Zoll u. Linien	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴	28″	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴
Thermometer Celsius. 28°	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852	1856
27°	1784	1790	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1858	1863
26°	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1840	1845	1849	1854	1859	1864	1869
25°	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871	1876
24°	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1862	1867	1872	1877	1882
23°	1809	1815	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883	1888
22°	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	1895
21°	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897	1902
20°	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903	1908
19°	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909	1914
18°	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915	1920
17°	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922	1927
16°	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928	1933
15°	1859	1866	1872	1879	1886	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940
14°	1865	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942	1947
13°	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949	1954
12°	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1919	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960
11°	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1962	1967
10°	1892	1899	1906	1913	1920	1926	1933	1939	1944	1949	1954	1959	1964	1969	1974

II. Tabelle zur Umrechnung der mit dem Scheiblerschen Apparate gefundenen Kubikzentimeter Kohlensäure auf kohlensauren Kalk.

Die Zahlen drücken Tausendstelmilligramm kohlensauren Kalk aus, entsprechend 1 ccm Kohlensäure.

Barometer mm	742	744,5	747	749	751	753,5	756	758	760	762,5	765	767	769	771	774
Pariser Zoll u. Linien	5‴	6‴	7‴	8‴	9‴	10‴	11‴	28″	1‴	2‴	3‴	4‴	5‴	6‴	7‴
Thermometer Celsius 28°	4041	4056	4070	4085	4099	4114	4128	4143	4155	4166	4177	4187	4197	4208	4218
27°	4055	4070	4085	4099	4114	4129	4143	4158	4169	4179	4190	4200	4211	4222	4232
26°	4069	4084	4099	4114	4129	4144	4158	4172	4183	4193	4204	4214	4225	4236	4247
25°	4083	4098	4113	4128	4143	4158	4172	4186	4197	4208	4219	4230	4241	4251	4262
24°	4097	4112	4127	4142	4157	4172	4186	4200	4211	4222	4233	4244	4255	4266	4277
23°	4111	4126	4141	4156	4171	4186	4200	4214	4226	4237	4248	4259	4270	4281	4292
22°	4125	4140	4155	4170	4185	4200	4214	4228	4240	4252	4263	4274	4285	4296	4307
21°	4139	4154	4169	4184	4199	4214	4229	4243	4255	4267	4279	4290	4301	4311	4322
20°	4153	4169	4184	4199	4214	4229	4243	4257	4269	4281	4292	4303	4314	4325	4336
19°	4168	4183	4198	4213	4228	4243	4258	4272	4284	4296	4307	4318	4329	4340	4351
18°	4182	4198	4213	4228	4243	4258	4272	4286	4298	4310	4321	4332	4343	4354	4365
17°	4197	4212	4227	4242	4257	4272	4286	4300	4312	4324	4335	4346	4357	4368	4379
16°	4211	4226	4241	4256	4271	4286	4300	4314	4326	4338	4349	4360	4371	4382	4393
15°	4225	4241	4256	4271	4286	4301	4315	4329	4341	4353	4364	4875	4386	4397	4408
14°	4240	4256	4271	4286	4301	4316	4331	4345	4357	4368	4379	4390	4401	4412	4423
13°	4255	4271	4286	4301	4316	4331	4346	4361	4373	4384	4395	4406	4417	4428	4439
12°	4270	4286	4301	4316	4331	4346	4361	4376	4388	4399	4410	4421	4432	4443	4454
11°	4285	4301	4316	4331	4346	4361	4376	4391	4403	4415	4426	4437	4448	4459	4470
10°	4300	4316	4332	4348	4364	4378	4394	4407	4419	4430	4441	4453	4464	4475	4486

Zustande gemessen ist und daß ein Quantum Kohlensäure von der Salzsäure des Entwicklungsgefäßes absorbiert wird.

Die Bestimmung der Kohlensäure durch Wägung aus dem Verlust. Das Verfahren beruht auf demselben Prinzip, wie das Seite 530 dargestellte, liefert aber sehr viel genauere Resultate. Es gibt eine ganze Anzahl von Kohlensäurebestimmungsapparaten, von denen Wahnschaffe als besonders zweckmäßig für die Bodenanalyse den von Laufer und Wahnschaffe verbesserten Mohrschen Apparat empfehlen möchte. Er besteht aus einem kleinen Glaskölbchen mit dünnem Boden und kurzem weitem Halse (Fig. 252). Dieses dient zur Aufnahme der zu untersuchenden Bodenprobe. Man trocknet das fein gepulverte Material, indem man es auf einem Uhrglase dünn ausbreitet, eine Stunde lang bei 100° C. im Trockenschranke. Darauf füllt man es heiß in ein kleines ebenfalls bei 100° C. ausgetrocknetes Glasröhrchen und verschließt letzteres mit einem Korke. Nach dem Erkalten wägt man das Rohr mit Kork, schüttet dann 2—3 g der Substanz in das Glaskölbchen und wägt das Rohr zurück. Die Differenz der beiden Wägungen entspricht dem Gewichte der bei 100° C. getrockneten Ausgangssubstanz. In den Hals des Glaskölbchens ist ein hohler mit zwei Röhrenansätzen versehener Glasstopfen luftdicht eingeschliffen. In die Röhrenansätze sind zwei Glasröhren von verschiedener Form ebenfalls eingeschliffen. Das eine Rohr ist rechtwinkelig um- und dann wieder aufwärts gebogen und erweitert sich oberhalb der zweiten Biegung. Es dient zur Aufnahme von Chlorcalcium und wird in der Weise gefüllt, daß man zuerst einen kleinen Wattepfropfen lose hineinschiebt, darauf eine Lage linsengroßer Chlorcalciumstückchen schichtet, einen zweiten Wattepfropfen darauf setzt und mit dem eingeschliffenen Glasstopfen, der oben einen Röhrenansatz besitzt, verschließt. Ueber das Ende der Röhre zieht man ein Stückchen Kautschukschlauch, in welches man oben einen kleinen Glastab hineingeschoben hat. Das andere Rohr reicht fast bis zum Boden des Gefäßes herab und besitzt oben einen Glashahn zum Einlassen der Säure in den Apparat. Oben ist das Rohr zur Aufnahme der letzteren birnenförmig erweitert und wird mit Glasstopfen, Kautschukschlauch und Glasstab in derselben Weise verschlossen, wie das andere Rohr. Die Füllung mit verdünnter Säure (1 Teil konzentrierte Säure und 10 Teile Wasser) geschieht in der Weise, daß man das birnenförmige Rohr umkehrt, in die Säure eintaucht und bei geöffnetem Glashahn letztere so weit heraufsaugt, bis die Birne fast gefüllt ist. Dann schließt man den Hahn, trocknet den Röhrenansatz mit Fließpapier aus und setzt

Fig. 252.



erst dann den Kautschukverschluß darauf. Die Substanz im Kölbchen wird mit etwas destilliertem Wasser übergossen. Nachdem man alle Röhren fest eingesetzt, den Apparat mit einem trockenen Lederlappen abgewischt und ihn eine halbe Stunde im Wagezimmer stehen gelassen hat, wägt man ihn. Sodann entfernt man die Kautschukröhren und läßt die Säure tropfenweise in das Kölbchen einfließen. Nachdem die Kohlensäure ausgetrieben, erhitzt man mit einer ganz kleinen Flamme den Boden des Kölbchens, indem man es auf eine Platte von Asbestpappe mit kreisförmigem Ausschnitt setzt. Das Säurerohr muß hierbei geschlossen sein. Nachdem man es fast bis zum Kochen erhitzt hat, so daß die im Wasser absorbierte Kohlensäure ausgetrieben worden ist, läßt man den Apparat erkalten und saugt zuletzt, um alle Kohlensäure aus ihm zu entfernen, einen langsamen Luftstrom hindurch, indem man das Chlorcalciumrohr mit einem Aspirator verbindet. Darauf verschließt man den Apparat mit den Kautschukverschlüssen, läßt ihn eine halbe Stunde lang im Wagezimmer stehen, damit er dessen Temperatur wieder annimmt, lüftet vor dem Wägen den Kautschukverschluß am Chlorcalciumrohr zur Ausgleichung des Luftdruckes und wägt mit aufgesetzten Kautschukverschlüssen.

Wenn alle Vorsichtsmaßregeln genau befolgt werden und man vor allen Dingen darauf achtet, daß die Flüssigkeit beim Erhitzen nicht in Kochen gerät, so kann man durch diese Methode die Kohlensäure bis zu Zehntelprozenten genau bestimmen.

Eine einfache maßanalytische Bestimmung des Calciumkarbonates, die nach dem Vorschlage der Moorversuchsstation vom Verbande landwirtschaftlicher Versuchsstationen des Deutschen Reiches zur Wertbestimmung kalkhaltiger Meliorationsmittel angenommen ist, ist die folgende:

Es werden 0,2 g (bei kohlensauren Kalken und Mergeln besser 0,3—0,4 g) einer aufs feinste zerkleinerten Durchschnittsprobe mit 200 ccm erwärmten Wassers im geräumigen Erlenmeyerschen Kochkolben aufgeschüttelt, mit 25—50 ccm titrierter Schwefelsäure ($^1/_5$ Normal) versetzt, die Kohlensäure durch $^1/_2$stündiges Kochen entfernt, die Flüssigkeit sodann filtriert und die überschüssige Säure durch Normalnatronlauge unter Anwendung von Phenolphthalein als Indikator zurücktitriert. Die Gehaltsberechnung wird ohne Rücksicht auf vorhandene Magnesia auf Calciumoxyd oder Calciumkarbonat ausgeführt. Erst bei größerer Menge Magnesia (ca. 3 Prozent) wird auch diese berücksichtigt.

Diese schnell und einfach auszuführende Methode ist auch für alle Bodenarten geeignet, welche beim Übergießen mit Salzsäure deutlich aufbrausen und demnach einen höheren Kalkgehalt anzeigen. Bei Bodenarten jedoch mit geringem Gehalte an Calcium- oder Magnesiumkarbonat versagt nach Immendorf[1])

[1]) Zeitschr. f. angew. Chemie 1900, S. 1177.

diese Methode, wenn es sich darum handelt, den Gehalt an kohlensauren alkalischen Erden allein zu ermitteln. Es lösen sich nämlich in der Schwefelsäure auch die Kalkerde und die Magnesia der leicht zersetzlichen wasserhaltigen Doppelsilikate und der Humate. Wohl aber leistet diese Methode vorzügliche Dienste, wenn es sich darum handelt, die sämtlichen leichtlöslichen alkalischen Erden zu bestimmen, unbekümmert darum, ob sie Karbonaten oder leicht zersetzlichen Silikaten oder Humaten angehören. Nur müssen in diesem Falle größere Mengen des Materials, ungefähr 6—10 g Boden, zur Untersuchung genommen werden. Nach dem Auskochen mit Schwefelsäure wird filtriert. Anderenfalls ist bei der Titration keine scharfe Endreaktion zu erreichen, weil die Kieselsäure der zersetzten leichtlöslichen Silikate und die Humussäure auf die Natronlauge einwirken. Nach der Filtration gab aber die Methode gute Resultate.

2. Die Untersuchung des Sandes. Den gesamten Sand eines Bodens erhält man in reinem Zustande durch die Schlämmanalyse. In vielen Fällen wird es nun von Wichtigkeit sein, neben der mechanischen Beschaffenheit des Sandes, d. h. neben der Korngröße und äußeren Form, auch die mineralogische und petrographische kennen zu lernen, weil sie einmal im stande ist, uns Hinweise über die Herkunft des Gesamtgebildes zu geben, und weil sie sodann von großer wirtschaftlicher Bedeutung sein kann; ist doch zweifellos ein Boden mit Kalk-, Feldspat- oder Glaukonitgehalt von ganz anderer Fruchtbarkeit, als ein solcher aus reinem Quarzsande!

Der Kies über 2 mm läßt sich ohne weiteres in seine Bestandteile zerlegen durch bloßes Auslesen der gleichartigen Gemengteile; den Gehalt an Kalksteinchen erhält man am sichersten, wenn man eine abgewogene Menge Kies oder groben Sand in einem Schälchen mit Wasser übergießt, das mit Salzsäure schwach angesäuert ist. Nimmt man mittels einer Platinpinzette alle Stücke heraus, die durch Kohlensäureentwicklung sich als Kalksteine verraten und wägt den ausgewaschenen und getrockneten Rest, so ergibt die Differenz den Gehalt an Kalkkörnern.

Gröbere Sande bis zu $^1/_2$ mm Durchmesser herab legt man feucht auf ein Blatt dunklen Glanzpapieres, und sucht die nach Farbe, Glanz, Härte, Spaltbarkeit, Durchsichtigkeit oder magnetischen Eigenschaften zusammengehörenden Körnchen mit der Pinzette oder mittels eines spitzen Wachsstäbchens aus. Man braucht bei den kleinen Körnchen selbstverständlich eine Lupe und kann sich zweckmäßig einer kleinen Standlupe bedienen. Die ausgelesenen Körnchen wägt man in einem Uhrgläschen und berechnet sie auf Prozente der betreffenden Korngröße.

Bei noch feineren Sanden kommen solche Trennungsmethoden in Anwendung, die bei der Petrographie ihre Besprechung finden werden.

Eine sehr große Schwierigkeit bietet die Feststellung der Kieselsäuremenge, die als Quarz in den feinen Sanden und in den tonhaltigen Teilen enthalten ist. Der Quarz kann nämlich durch keine der bekannten chemischen oder mechanischen Methoden vom Feldspat getrennt werden; J. Hazard hat deshalb eine indirekte Methode angewendet und beschrieben[1]), die darauf beruht, daß ein Teil der gesteinsbildenden Silikate durch verdünnte Schwefelsäure bei hoher Temperatur und hohem Drucke vollständig zerlegt wird. Aus den angestellten Vorversuchen ergab sich, daß Muskowit, Biotit, Granat, Turmalin, Talk, Hornblende, Hypersthen, Diallag und Pyroxen vollständig aufgeschlossen werden, während von den Feldspäten nur Anorthit und Labrador zersetzt werden, Orthoklas, Albit und Oligoklas dagegen unzersetzt zurückbleiben.

Der Gang der eigentlichen Untersuchung ist folgender: Das äußerst sorgfältig gepulverte Mineralgemenge wird mit 2 Teilen konzentrierter Schwefelsäure und 1 Teil Wasser in einer Glasröhre, wie sie bei der Tonbestimmung (s. unten) angewendet wird, eingeschmolzen und 6 Stunden lang einer Temperatur von 250° ausgesetzt. Nach dem Öffnen des Rohrs wird dessen Inhalt in eine Schale ausgespült, nötigenfalls das an den Glaswandungen haften gebliebene vermittels eines mit kurzem Kautschukschlauche versehenen Glasstabes entfernt und die Säure gehörig verdünnt. Hierauf wird filtriert, der Rückstand oberflächlich ausgewaschen und das Filter nebst Inhalt in mäßig verdünnte Kalilauge gebracht und eine Stunde lang auf dem Wasserbade digeriert, die Lösung abermals mit Wasser verdünnt, abfiltriert, anfangs mit verdünnter heißer Kalilauge und dann mit verdünnter Salzsäure ausgewaschen. Das wohl getrocknete Filter wird hierauf samt seinem Inhalte in einem Platintiegel eingeäschert und gewogen. Es sind nunmehr alle zersetzbaren Mineralien zerstört und nur noch der Quarz nebst den genannten drei unzersetzbaren Feldspäten vorhanden.

Mit diesem Gemenge verfährt man wie bei der Silikatanalyse, indem man es im Platintiegel mit der fünffachen Menge von wasserfreiem Natriumkarbonat vermischt und anfangs über einem gewöhnlichen Brenner, später über dem Gebläse bei aufgelegtem Deckel so lange erhitzt, bis die Masse ruhig fließt und sich keine Kohlensäurebläschen mehr entwickeln. Die erkaltete Schmelze bringt man im Tiegel in ein Becherglas, übergießt sie mit destilliertem Wasser, kocht und fügt mittels einer Pipette in kleinen Portionen konzentrierte Salzsäure so lange zu, bis kein Aufbrausen mehr erfolgt. Den Tiegel hebt man mittels Glaszange oder Platinpinzette heraus und spült ihn sorgfältig mit destilliertem Wasser über dem Becherglase ab. Zur Lösung gibt man einige Tropfen Salpetersäure und dampft die

[1]) Fresenius, Zeitschrift für analytische Chemie. XXIII. Heft 2. S. 158—160.

Lösung samt der ausgeschiedenen Kieselsäure in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade bis zur staubförmigen Trockne ein. Sobald die Lösung dickflüssig wird, muß man sie zur Verhütung der Entstehung größerer Kochsalzkristalle beständig mit einem Glaspistill umrühren. Nach dem völligen Eintrocknen gibt man etwas destilliertes heißes Wasser zu und dampft unter Umrühren abermals so lange ein, bis alle Salzsäure verjagt und die Kieselsäure als ein in Säuren völlig unlösliches Pulver abgeschieden ist. Dann wird die ganze Masse mit Wasser und Salzsäure gekocht und filtriert und die auf dem Filter zurückbleibende Kieselsäure so lange ausgewaschen, bis sie völlig chlorfrei ist. Nach dem Trocknen bei 100 ° C. wird sie im Platintiegel geglüht und nach dem Erkalten gewogen.

Im Filtrate wird hierauf Eisenoxyd und Tonerde mit Ammoniak ausgefällt und die Menge des ersteren durch Titrieren des Gemenges mittels Chamäleonlösung bestimmt. Aus dem hierbei verbleibenden Filtrate wird schließlich noch durch Ausfällung mittelst oxalsauren Ammoniaks die Kalkerde bestimmt.

Mit den drei erhaltenen Werten für Kieselsäure (a), Tonerde (b) und Kalkerde (c) hat man nun die Elemente zur Berechnung des Quarzgehaltes erlangt. Nach der Tschermakschen Konstitutionsformel für den Anorthit berechnet man zunächst die der gefundenen Kalkerde äquivalente Tonerdemenge (b'), indem man ihr Gewicht mit 1,83214 multipliziert. Für den gefundenen Wert b' berechnet man die zugehörige Kieselsäuremenge a' durch Multiplikation von b' mit 1,16959. Nun zieht man die Anorthittonerde b' von der Gesamttonerde b ab und berechnet die dem Reste b'' äquivalente, im Orthoklas und Albit enthaltene Kieselsäure a'' durch Multiplikation mit 3,50878. Die Summe von a' und a'' zieht man von der gefundenen Gesamtkieselsäure ab und hat im Reste den im Gemenge enthaltenen Quarz. In eine Formel gebracht und zusammengezogen ist die als Quarz vorhandene Kieselsäuremenge $x = a - 3{,}50878\,b + 4{,}28573\,c$.

3. Die Bestimmung des Humusgehaltes. Eine zuverlässige und zugleich einfache, mit geringen Hilfsmitteln ausführbare Methode zur Bestimmung des Humusgehaltes im Boden gibt es bislang leider nicht. Da es nun aber sehr schwer ist, besonders bei humusreicheren Böden den Humusgehalt einigermaßen richtig zu schätzen, und darum ein einfaches Verfahren, welches wenigstens einen gewissen Anhalt gewährt, sehr wünschenswert ist, so hat man versucht, die modifizierte Glühverlustbestimmung für diesen Zweck dienstbar zu machen. Man verfährt dabei folgendermaßen: 10 g des lufttrockenen Feinbodens werden in einem Porzellan- oder Platintiegel genau abgewogen und hierauf im Trockenkasten 2 Stunden lang einer Temperatur von 140—150° C. ausgesetzt. Die Temperatur darf nicht höher steigen, als bis 150°, weil sonst bereits die Zersetzung der Humus-

substanzen beginnen würde. Hat man keinen Trockenkasten, so kann man sich eines Sandbades bedienen, dessen Temperatur nicht so hoch steigen darf, daß in den Sand gesteckte Filtrierpapierstreifchen sich bräunen. Ist der Tiegel so weit abgekühlt, daß man ihn anfassen kann, so bringt man ihn schnell auf die Wage und wägt ihn warm, oder man läßt ihn in einem Exsikkator, falls ein solcher zur Verfügung steht, erkalten und wägt ihn dann möglichst schnell, aber genau. Der Gewichtsverlust entspricht dem bei dem Trocknen bis 150° entfernten Wasser.

Nun wird der Tiegel über einer Berzelius-Spirituslampe oder einem Bunsenschen Gasbrenner erst schwach, dann aber mit immer stärkerer Flamme geglüht. Man durchrührt während dessen unter sorgfältiger Vermeidung von Verlusten den Boden mit einem starken Platindrahte und wird bemerken, wie die Humusteile anfangen zu glimmen und zu verbrennen. Wenn diese Erscheinung vollständig aufgehört hat, läßt man die Substanz erkalten und fügt ihr dann einige Tropfen einer Lösung von kohlensaurem Ammoniak zu. Durch das starke Glühen ist nämlich nicht nur der Humusgehalt verbrannt, sondern auch aus dem etwa vorhanden gewesenen kohlensauren Kalke die Kohlensäure ausgetrieben und der Kalk in Ätzkalk verwandelt; durch die Hinzufügung des kohlensauren Ammoniaks wird dieser Ätzkalk wieder in kohlensauren Kalk zurückverwandelt. — Hat man sich durch die Prüfung mit Salzsäure vorher von der völligen Abwesenheit des kohlensauren Kalkes überzeugt, so ist die Hinzufügung von kohlensaurem Ammoniak natürlich überflüssig. — Nach der Regenerierung des kohlensauren Kalkes erhitzt man den Tiegel nochmals ganz schwach zur Verjagung des Ammoniaks und läßt ihn, wie vor der ersten Wägung, entweder erkalten, oder bringt ihn warm auf die Wage. Die Gewichtsabnahme gegenüber der letzten Wägung bezeichnet man als den Glühverlust des Bodens. Es wäre aber durchaus falsch, diesen Glühverlust nunmehr direkt als Humus zu betrachten. Er setzt sich vielmehr zusammen aus dem Humus und demjenigen Wasser, welches in den Bodengemengteilen chemisch so kräftig gebunden ist, daß es bei einer Temperatur von 150° noch nicht vertrieben werden kann. Die Menge dieses Wassers ist aber, da es zu allermeist in der Tonsubstanz enthalten ist, von deren Menge abhängig, ist also gering in sandigen, größer in lehmigen, am größten in strengen tonigen Böden. Leider aber ist es bis heute nicht möglich, die hierin liegende Fehlerquelle zu beseitigen; Nowacki hat vorgeschlagen, bei rein sandigen, kiesigen und grusigen Böden den ganzen Glühverlust als Humus zu rechnen, dagegen bei lehmigen Sandböden ein Viertel, bei Lehmböden ein Drittel und bei Ton- und strengen Lehmböden die Hälfte des Glühverlustes als chemisch gebundenes Wasser in Berechnung zu bringen. Diese empirischen Zahlen genügen aber nur für Böden mit nicht zu geringem Humusgehalte und ergeben bei humusarmen Tonböden offenbar zu hohe Ziffern für den

Humusgehalt. Die Methode ist also nur mit Vorsicht zu gebrauchen, und die erhaltene Zahl darf niemals Anspruch auf irgend welchen wissenschaftlichen Wert erheben. Die Glühverlustbestimmung darf also nur bei tonfreien Böden (Torf, Moorerde, Moormergel, Sand, Kies) zur Ermittlung des Humusgehaltes verwendet werden; der Humusgehalt toniger Böden kann dagegen nur durch exakte chemische Methoden ermittelt werden, unter

Fig. 253.



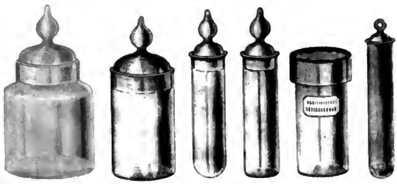
denen die Elementaranalyse selbstverständlich die genauesten Ergebnisse liefert. Ihre Darstellung liegt außerhalb des in diesem Buche zu Besprechenden. Für die weitaus meisten Fälle wird die Knopsche Methode der Humusbestimmung genügen, die wir nach Wahnschaffe l. c. S. 64 beschreiben.

Die Knopsche Methode beruht darauf, den im Humus enthaltenen Kohlenstoff durch Oxydation mit Chromsäure in Kohlensäure zu verwandeln und letztere in einem wägbaren Absorptionsapparate aufzufangen.

Etwa 2—10 g Feinboden (unter 2 mm) der zu untersuchenden Substanz werden auf einem Uhrglase ausgebreitet und im Trockenschranke

(Fig. 253)[1]) mindestens eine Stunde lang bei 100° C. getrocknet. Diese Temperatur darf nicht überschritten werden, da schon bei 110° C. das aus dem Humus abdestillierte Wasser zuweilen bräunlich gefärbt ist, was auf eine Zersetzung hindeutet. Zugleich mit der Substanz setzt man ein Wägegläschen (Fig. 254) in den Trockenschrank hinein, nimmt jedoch den luftdicht in dasselbe eingeschliffenen Stopfen vorher ab. Nachdem die Substanz getrocknet ist, bringt man sie heiß in das Wägegläschen, verschließt

Fig. 254.



es und läßt es im Exsikkator erkalten. Sodann wägt man es und schüttet von der Substanz je nach ihrem größeren oder geringeren Humusgehalt 1—10 g vorsichtig, ohne etwas zu verstäuben, in ein Glaskölbchen mit weitem Hals, in welchem die Oxydation der Humussubstanz ausgeführt werden soll. Man kann hierzu den bereits beschriebenen Kohlensäurebestimmungsapparat (Fig. 252) benutzen. Hat man einen solchen nicht zur Hand, so setzt man auf das Glaskölbchen einen doppelt durchbohrten Kautschukstopfen. Durch die eine Bohrung steckt man ein gerade aufsteigendes und unten etwas umgebogenes Glasrohr, welches oben mit Kautschukröhre und Glasstab verschlossen wird. Durch die andere Bohrung geht das Chlorcalciumrohr hindurch, welches oberhalb des Stopfens

1) Figur 253 stellt einen Trockenschrank dar, welcher von R. Muencke angegeben worden ist und für das Trocknen bei konstanter Temperatur sehr empfohlen werden kann. Der aus starkem Eisenblech gefertigte Kasten ist mit doppelten Wänden versehen, so daß die heißen Verbrennungsgase in dem durch die Doppelwand gebildeten Zwischenraume den Kasten mit Ausnahme der ebenfalls doppelwandigen eingefalzten Tür allseitig umgeben. Von außen ist der ganze Schrank mit einem Mantel von Asbestpappe versehen. Auf der Oberdecke entweichen die Verbrennungsgase durch die angebrachten Öffnungen, welche durch einen Schieber mehr oder weniger weit geöffnet werden können. Die beiden Tuben dienen zur Aufnahme des Thermometers und eventuell auch zur Anbringung eines Wärmeregulators. Im Innern ist oben zum Schutze eine mit zwei Löchern versehene Glasplatte unmittelbar unter der Decke eingelegt. Die sehr gleichmäßige Erwärmung geschieht durch eine mit zwanzig kleinen Flämmchen versehene Gasspirale, welche durch Hoch- und Niederstellen mittels zweier Schrauben beliebig eingestellt werden kann.

umgebogen ist und im übrigen dieselbe knieförmige Gestalt besitzt, wie sie bereits bei dem Kohlensäurebestimmungsapparate (Fig. 185) beschrieben wurde. Man tut gut, bei Beginn der Operation das gerade Rohr nicht in die Flüssigkeit einzusenken, da es sich sonst unten durch die ausgeschiedene Chromsäure leicht verstopft.

Die abgewogene, im Kölbchen befindliche Substanz übergießt man mit 20—30 ccm destilliertem Wasser und fügt 30—40 ccm konzentrierte Schwefelsäure hinzu. Man läßt letztere am besten durch einen Trichter nach und nach einfließen. Bei der Vermischung der Säure mit Wasser findet eine sehr starke Erhitzung statt, so daß sowohl die im Boden frei vorhandene Kohlensäure, als auch die an Kalk gebundene vollständig ausgetrieben wird. Ist viel Calciumkarbonat vorhanden, wie dies z. B. bei Moormergeln der Fall ist, so darf man die Schwefelsäure nur ganz langsam und unter stetigem Abkühlen des Gefäßes einfließen lassen, da sonst ein Überschäumen der Flüssigkeit stattfindet. Vor Beginn der Oxydation läßt man das Kölbchen völlig erkalten und saugt die über der Flüssigkeit stehende Luft heraus, um die letzten Spuren Kohlensäure zu entfernen.

Da häufig in dem Boden noch nicht völlig humifizierte Pflanzenreste vorkommen, die sich jedoch nicht gut vorher auslesen lassen, so lässt man die Schwefelsäure einige Tage lang mit der Substanz in Berührung. Es findet nun eine Verkohlung der organischen Reste statt und die Oxydation dieser und des Humus zu Kohlensäure mit Chromsäure vollzieht sich rascher und gleichmäßiger.

Nachdem man den zuvor gewogenen G e i ß l e r schen Kaliabsorptionsapparat mit dem Chlorcalciumrohr verbunden hat, schüttet man 10 bis 15 g gepulvertes Kaliumbichromat durch eine in das Kölbchen hineingesteckte Papierröhre rasch zur Substanz und verschließt den Apparat sofort mit dem Kautschukstopfen. Um Fehler zu vermeiden, die dadurch entstehen können, daß bei allzu stürmischer Entwicklung der Kohlensäure ein Spritzen der Flüssigkeit gegen den Kautschukstopfen stattfindet, umgibt man dessen Unterseite zweckmäßig mit einem dünnen Platinbleche. Man bringt nun eine ganz kleine Flamme unter das Kölbchen und reguliert die beim Erwärmen beginnende Kohlensäureentwicklung derartig, daß immer eine Blase in der Sekunde durch den G e i ß l e r schen Apparat hindurchgeht. Wird die Entwicklung lebhafter, so mäßigt man die Flamme; läßt sie nach, so erhitzt man stärker.

Das Kaliumbichromat wird durch die Schwefelsäure in folgender Weise zersetzt: $Cr_2O_7K_2 + H_2SO_4 = 2(CrO_3) + K_2SO_4 + H_2O$. Die freie Chromsäure oxydiert durch ihren Sauerstoff den Kohlenstoff der Humussubstanzen zu Kohlensäure. In der Flüssigkeit bildet sich, da stets Überschuß an Schwefelsäure vorhanden ist, gewöhnlich Chromalaun, $(SO_4)_2CrK + 12H_2O$. Die Erhitzung wird bis zum Kochen gesteigert, bis keine merkliche Kohlen-

säureentwicklung mehr stattfindet. Zuletzt senkt man das gerade stehende Glasrohr in die Flüssigkeit ein und verbindet es mit einer Kaliwaschflasche, während man einen langsamen Luftstrom durch den ganzen Apparat hindurchsaugt. Man entfernt nun die Flamme und verfährt im übrigen ganz so, wie dies bei der Kohlensäurebestimmung angegeben ist.

Um aus der gefundenen Kohlensäure die Menge des wasser- und stickstofffreien Humus annähernd berechnen zu können, ist man übereingekommen, für denselben, gleichviel in welcher Form er sich im Boden findet, einen durchschnittlichen Kohlenstoffgehalt von 58 Prozent anzunehmen. Man hat daher die gefundene Kohlensäuremenge nur mit dem Faktor 0,471 zu multiplizieren, um den Humusgehalt zu erfahren.

Da bei etwa vorhandenem Schwefeleisen durch Entwicklung geringer Mengen Schwefelwasserstoff oder bei Anwesenheit von Chloriden durch entweichendes Salzsäuregas Fehler entstehen können, so empfiehlt es sich, zwischen dem Chlorcalciumrohr und dem Geißlerschen Apparate eine **U**-förmige Röhre einzuschalten. Diese wird mit Bimssteinstückchen gefüllt, die mit Kupfervitriol getränkt und bis zur Hydratwasseraustreibung des letzteren erhitzt waren. In solchen Röhren wird das Schwefelwasserstoff- und Chlorwasserstoffgas zurückgehalten.

4. Die Tonbestimmung. Der gesamte Tongehalt eines Bodens ist zwar in dem bei einer Geschwindigkeit von 2 mm abgeschlämmten Teilprodukte enthalten, aber es ist völlig verkehrt, wie dies früher meist geschah, dieses direkt als Ton zu bezeichnen. Wie die chemische und mikroskopische Untersuchung lehrt, sind nämlich in diesen „tonhaltigen Teilen“ neben den als „Ton“ zusammengefaßten in allen möglichen Stadien der Verwitterung befindlichen Tonerdesilikaten noch eine Reihe von unzersetzten, teilweise tonerdefreien Mineralien enthalten, unter denen der Quarz in Form feinsten Mehles und in vielen Fällen der Kalk die wichtigsten sind. Um nun die sogenannten Tonsubstanzen von den übrigen Mineralien zu trennen, benutzt man die Eigenschaft des Tones, sich in heißer Schwefelsäure aufzulösen, der gegenüber Quarz und Feldspat sich indifferent verhalten.

An groben Bestandteilen reiche Böden werden, um sie zur Tonuntersuchung vorzubereiten, zunächst bei 2 mm Geschwindigkeit geschlämmt; das Schlämmprodukt wird, wie oben angegeben, getrocknet. Böden ohne grobe Gemengteile (Mergelsand, Löß, Ton, Letten) werden durch direktes Pulverisieren im Achatmörser zur Aufschließung vorbereitet. Die Aufschließung selbst bewerkstelligt man, um die verschiedenen Untersuchungen unter möglichst gleichen Bedingungen ausführen zu können, am besten in einem zugeschmolzenen Rohre aus schwer schmelzbarem Kaliglase, dem man ohne Berücksichtigung des Halses eine Länge von etwa 30 cm gibt

(Fig. 255), und welches man unten in eine durch Schmelzen am Gebläse zu verdickende Kapillare auszieht. Oben zieht man die Röhre ebenfalls etwas aus, so daß sich ein Hals bildet, der jedoch so weit bleiben muß, daß das Wägeröhrchen noch bequem hindurchgesteckt werden kann. Vor dem Gebrauch wird das Rohr mit Königswasser ausgekocht, mit destilliertem Wasser ausgespült und getrocknet.

Bei Ausführung der Analyse werden 1—2 g der zerriebenen Substanz bei 100° C. anhaltend getrocknet und sodann heiß in ein ebenfalls ausgetrocknetes langes und dünnes Wägeröhrchen eingefüllt, welches mit einem

Fig. 255.



Kork verschlossen wird. Nach dem Erkalten wird die Substanz aus dem Wägeröhrchen in das Kaliglasrohr hineingeschüttet, indem man ersteres möglichst weit in dasselbe hineinschiebt, um dadurch zu verhüten, daß Substanz im Halse hängen bleibt. Darauf wird das Wägeröhrchen zurückgezogen.

Man bringt nun mittels einer Pipette 20 ccm reine verdünnte Schwefelsäure (1 Volumen konzentrierte reine Schwefelsäure und 5 Volumina Wasser) in das Kaliglasrohr hinein und schmilzt es, indem man es aufrecht hält, durch Ausziehen des Halses am Gebläse zu. Die Spitze muß ebenfalls in eine Kapillare ausgezogen sein, da nur diese dem starken Drucke beim Erhitzen Widerstand leistet, während eine rund abgeschmolzene Röhre bei höherer Erhitzung sehr leicht platzt.

Enthält die Substanz kohlensauren Kalk, so muß die Schwefelsäure ganz allmählich hinzugefügt und das Rohr vor dem Zuschmelzen in kochendes Wasser gestellt werden, damit alle Kohlensäure entweichen kann.

Die zugeschmolzenen Glasröhren werden nun in einen Röhren- oder Schießofen eingelegt, welcher so eingerichtet ist, daß er vier Röhren aufnehmen kann. Dieselben werden 6 Stunden lang bei 220° C. erhitzt und nach dem völligen Erkalten in der Weise geöffnet, daß man mit einem Diamanten oben einen Ring rings herum zieht und die Spitze eines glühenden Glasstabes dagegen hält. Das Rohr springt dann ganz glatt ab und man kann seinen Inhalt unter Anwendung einer Spritzflasche bequem in ein Becherglas entleeren. Die Flüssigkeit wird stark verdünnt, in dem Falle, daß viel Calciumkarbonat vorhanden war, zur Auflösung des gebildeten Gipses mit etwas Salzsäure versetzt und bis zum Kochen erhitzt, während man ein Uhrglas darüber deckt. Darauf läßt man die Substanz sich setzen und dekantiert die Flüssigkeit durch ein Filter. Zuletzt bringt man auch die ungelöste Substanz auf das Filter und wäscht letzteres so lange mit heißem

destilliertem Wasser aus, bis ein vom Trichter ablaufender Tropfen beim Versetzen mit Chlorbaryumlösung keine Trübung mehr erkennen läßt.

Das Filtrat wird zur Oxydation des Eisenoxyduls mit Bromwasser versetzt und bei aufgedecktem Uhrglase so lange gekocht, bis die gelbe Färbung der Flüssigkeit wieder verschwindet und kein Bromgeruch mehr zu bemerken ist.

Darauf entfernt man die Flamme und versetzt die Flüssigkeit unter stetigem Umrühren mit einem Glasstabe mit verdünntem Ammoniak, bis sie schwach ammoniakalisch riecht und ein Stückchen hineingeworfenes rotes Lackmuspapier anhaltend bläut. Der entstandene Niederschlag besteht aus Aluminium- und Eisenhydroxyd = $Al(OH)_3 + Fe(OH)_3$. Da das Aluminiumhydroxyd in überschüssigem Ammoniak etwas löslich ist, fügt man einige Tropfen Essigsäure hinzu, bis die Flüssigkeit schwach sauer ist, und erhitzt sie nochmals bis zum angehenden Kochen.

Man läßt nun den Niederschlag in bedecktem Glase kurze Zeit klar absitzen und filtriert sodann durch ein Filter, welches man so an den Trichter angelegt hat, daß ein recht schnelles Filtrieren möglich ist. Das Filter darf nur so weit mit der Flüssigkeit angefüllt werden, daß noch ein mindestens 1 cm hoher Rand übrig bleibt, da im anderen Falle das Auswaschen des Niederschlages sehr erschwert ist. Man darf bei dem Filtrieren den Trichter nie ganz ablaufen lassen, weil der gelatinöse Niederschlag sich sonst fest an das Papier anlegt und dieses verstopft. Nachdem der Niederschlag aus dem Becherglase auf das Filter übergeführt ist und die am Glase anhaftenden Teilchen mit einer Feder- oder Gummifahne herausgebracht worden sind, wäscht man den Niederschlag so lange mit heißem Wasser unter Anwendung einer Spritzflasche aus, bis ein ablaufender Tropfen mit Chlorbaryumlösung keine Trübung mehr zeigt.

Der Eisenoxyd-Tonerdeniederschlag wird bei 100° C. im Trockenschrank anhaltend getrocknet, wobei er sehr zusammenschwindet, so daß man ihn fast vollständig vom Filter ablösen kann. Man legt einen Viertelbogen weißes Papier auf den Tisch, stellt einen gewogenen Platintiegel darauf und bringt den Niederschlag vom Filter dadurch hinein, daß man die Innenseiten des Papiers gegeneinander reibt. Etwa abspringende Körnchen gelangen auf die Papierunterlage und werden ebenfalls in den Tiegel hineingeschüttet. Nachdem man den Niederschlag möglichst vom Filter abgelöst, faltet man letzteres zusammen, umwickelt es mit einem feinen Platindrahte und verbrennt und glüht es in der Spitze der Flamme eines Bunsenschen Brenners. Wenn die Kohle des Filters vollständig verbrannt ist, fügt man die Asche zu dem Niederschlag im Tiegel hinzu und glüht den letzteren längere Zeit stark, beginnt jedoch mit sehr mäßiger Erhitzung, wobei man den Deckel auf den Tiegel deckt. Darauf läßt man die Substanz im Exsikkator erkalten und wägt sie möglichst schnell, da das Eisenoxyd und die Tonerde ziemlich hygroskopisch sind. Man tut sogar am besten,

den Tiegel zweimal zu wägen, indem man die Gewichte der ersten Wägung auf der Wage stehen läßt, die Substanz wiederum glüht und nach dem Erkalten im Exsikkator nochmals wägt. Da die Gewichtsdifferenz höchstens 1—2 mg beträgt, so kann man das Gewicht schnell durch ein bis zwei Schwingungen der Wage ermitteln. Man erfährt so, nachdem man die Filterasche in Abzug gebracht hat, die Menge von Eisenoxyd und Tonerde = $Al_2O_3 + Fe_2O_3$, welche durch Schwefelsäure gelöst werden. Die Filterasche ist bei den vorzüglichen neueren sogenannten aschefreien Filtern, die durch Salzsäure und Flußsäure ausgezogen werden, so gering, daß sie vernachlässigt werden kann.

Die Trennung des Eisenoxyds von der Tonerde erfolgt nach einer der in der analytischen Chemie üblichen Methoden, also entweder durch Titrieren des durch Wasserstoff zweiwertig gemachten Eisens mittels einer Lösung von Kaliumpermanganat, oder durch Trennung der Tonerde vom Eisenoxyd und Wägung der ersteren. In beiden Fällen erhält man einen Wert für den Gehalt an Aluminiumoxyd Al_2O_3. Um aus ihm den Tongehalt des Bodens zu erfahren, berechnet man für die gefundene Menge Tonerde die äquivalente Menge von wasserhaltigem Ton nach der Forchhammerschen Formel ($Al_2O_3 . 2SiO_2 + 2H_2O$), indem man die gewogene Menge Tonerde mit dem Faktor 2,5294 multipliziert. Da man die Tonbestimmung in den tonhaltigen Teilen (unter 0,05 mm Durchmesser) ausgeführt hat, so berechnet man die Tonmenge prozentisch auf den Gesamtboden.

Bei sehr feinen Bodenarten, beispielsweise bei Löß- und Schlickböden, sowie bei solchen Bodenarten, bei welchen man infolge ihrer stark humosen Beschaffenheit eine Schlämmanalyse nicht ausführen kann, wird man die Aufschließung mit Schwefelsäure im Rohr gleich mit dem Gesamtboden ausführen. Bei humosen Bodenarten wird man jedoch besser tun, die früher fast allgemein zur Tonbestimmung angewandte Methode, die Aufschließung mit konzentrierter Schwefelsäure durch Erhitzen in einer offenen Platinschale, noch beizubehalten, obwohl sie nicht so gleichmäßige Resultate liefert wie die Aufschließung im Rohr, bei der man die Konzentration und Menge der anzuwendenden Schwefelsäure, die Temperatur und die Zeit der Einwirkung immer in gleicher Weise regulieren kann.

Kapitel 59.

Die Bestimmung der Pflanzennährstoffe.

In den meisten Fällen wird es bei der Bestimmung der sogenannten Pflanzennährstoffe sich darum handeln, die Gesamtsumme der im Boden vorhandenen, bereits zur Verfügung stehenden und in Zukunft verfügbar werdenden, für die Pflanze notwendigen oder förderlichen Stoffe zu be-

stimmen. Man erhält diese dadurch in Lösung, daß man den Boden mit heißer konzentrierter Salzsäure auszieht. Will man nur die augenblicklich verfügbaren Nährstoffe kennen lernen, so bedient man sich zur Auslaugung kalten destillierten Wassers, oder eines bis zu 1/4 mit reiner Kohlensäure gesättigten Wassers. Ich beschränke mich hier auf die Darstellung der Methode zur Bestimmung der gesamten im Boden vorhandenen Nährstoffe.

Beim Auszug mit heißer konzentrierter Salzsäure verfährt man in folgender Weise: Man wägt bei Sandböden 50, bei Tonböden 25 g des lufttrockenen Feinbodens und übergießt sie in einem Erlenmeyerschen Kochbecher mit 100 ccm konzentrierter reiner Salzsäure von 1,15 spezifischem Gewicht. Den Kochbecher stellt man auf ein Sandbad (Fig. 256), setzt ein kleines Trichterchen mit kurzer Trichterröhre (*c*) darauf, gebraucht jedoch die Vorsicht, zwischen dem Hals des Kochbechers und dem Trichter ein kleines Stückchen Glasstab *b*, welches im Winkel von 45° gebogen ist, einzuschieben, damit die Dämpfe beim Kochen ungehindert entweichen können und ein Verspritzen der Flüssigkeit durch das Trichterrohr hindurch vermieden wird.

Fig. 256.



Der Boden wird nun genau 1 Stunde lang mit der Säure gekocht. Darauf fügt man destilliertes Wasser in großem Überschuß hinzu, rührt mit einem Glasstabe um und läßt den Boden sich absetzen. Nachdem die überstehende Flüssigkeit sich geklärt hat, gießt man sie durch ein Filter ab und wäscht den Boden im Kochbecher so lange durch Dekantieren mit heißem Wasser aus, bis ein vom Trichter ablaufender Tropfen keine Trübung mit Silbernitrat mehr gibt. Es ist nicht notwendig, den ganzen Boden auf das Filter zu bringen, weil man dadurch sein Auswaschen erschwert.

Das klare Filter bringt man auf 1000 ccm und entnimmt davon 300 ccm zur Analyse. Diese werden nach dem Vorschlage von Dr. R. Gans zunächst in einer Platinschale unter Zusatz von einer geringen Menge Flußsäure und so viel Schwefelsäure als genügt, um alle Basen in Sulfate überzuführen, auf dem Wasserbade bis zur Trockne eingedampft, wozu man zweckmäßig das von R. Muencke[1]) angegebene Wasserbad benutzt, welches mit konstantem Wasserzufluß versehen ist, so daß ein Austrocknen desselben nicht stattfinden kann. Der Abdampfrückstand wird in der Platinschale, um das Fluorsilicium zu verjagen, über einem kleinen Flämmchen vom Rande her mäßig erhitzt, bis die Salze trocken zu werden beginnen. Sodann glüht man bei ganz schwacher Rotglut. Die Abscheidung der Kieselsäure ist notwendig, da diese sonst die Phosphorsäurebestimmung fehler-

[1]) Dinglers polytechn. Journal 1879, Bd. 231, S. 329.

haft beeinflußt. Außerdem gewährt diese Methode den Vorteil, daß beim Erhitzen mit Schwefelsäure die in Lösung gegangenen Humussubstanzen zerstört werden, die sonst bei den späteren Fällungen in dem direkt verwendeten salzsauren Bodenauszuge sehr störend sind.

Die Sulfate werden in der Platinschale mit konzentrierter Salzsäure benetzt und nach dem Verdünnen derselben durch Kochen gelöst. Etwa vorhandene Kohleteilchen werden durch Filtrieren der Lösung beseitigt.

Das Filtrat von der Kieselsäure versetzt man heiß mit Ammoniak und fällt dadurch das Eisenoxyd und die Tonerde. Man fügt sodann einige Tropfen Essigsäure hinzu, bis die Flüssigkeit ganz schwach sauer reagiert und kocht sie darauf nochmals auf. Den meist sehr bedeutenden Niederschlag bringt man auf zwei große, schnell filtrierende Filter, wäscht sie mit heißem Wasser gut aus und löst darauf den Niederschlag vom Filter mit einer Federfahne möglichst ab. Die am Filter haften gebliebenen Teile, sowie der abgelöste Niederschlag, werden in heißer verdünnter Salpetersäure aufgelöst. Die Lösung füllt man in ein 500 ccm fassendes Kölbchen und hebt daraus mit der Pipette 100 ccm zur Bestimmung des Eisens auf maßanalytischem Wege und 100 ccm zur Bestimmung von Eisenoxyd, Tonerde und Phosphorsäure durch gemeinsame Wägung ab, während man die übrigbleibenden 300 ccm bis auf eine kleine Menge abdampft und zur Phosphorsäurebestimmung benutzt. In den 100 ccm fällt man das Eisenoxyd, die Tonerde und die Phosphorsäure durch Ammoniak in schwach essigsaurer Lösung und wägt den geglühten Niederschlag. In den anderen 100 ccm bestimmt man das Eisen, indem man das Eisenchlorid durch Jodkalium reduziert und die Menge des ausgeschiedenen, im Überschusse von Jodkalium löslichen Jods durch Titrieren mit unterschwefligsaurem Natron unter Zusatz von Stärkekleister als Indikator bestimmt. Der chemische Prozeß ist dabei folgender:

$$FeCl_3 + KJ = FeCl_2 + KCl + J.$$

Durch Einwirkung von Jod auf unterschwefligsaure Salze bilden sich neben Metalljodüren tetrathionsaure Salze:

$$2\,J + 2\,(S_2O_3Na_2) = 2\,(NaJ) + S_4O_6Na_2.$$

Bei Bestimmung des Eisens in den 100 ccm der salzsauren Lösung verfährt man in ganz gleicher Weise. Die Tonerde erhält man aus der Differenz, indem man Eisenoxyd und Phosphorsäure von der Gesamtsumme abzieht.

Das gesamte Filtrat des Hauptniederschlages versetzt man bis zur Neutralisierung mit Ammoniak und sodann mit Schwefelammonium, wodurch das Mangan als Schwefelmangan gefällt wird. Der Niederschlag wird abfiltriert, mit schwefelammoniumhaltigem Wasser ausgewaschen und nach dem Trocknen in einem gewogenen Glühtiegel mit dem Filter verascht. Darauf fügt man etwas Schwefelblumen hinzu, erhitzt den Tiegel im Wasserstoffstrom und läßt ihn auch darin erkalten. Der grüne Rückstand im

Tiegel besteht aus Mangansulfür (MnS), welches nach dem Erkalten im Exsikkator gewogen wird. Man berechnet das Mangansulfür auf die äquivalente Menge Manganoxyduloxyd, indem man es mit dem Faktor 0,877 multipliziert.

Das Filtrat vom Schwefelammoniumniederschlage wird unter einem Abzuge mit Salzsäure übersättigt und so lange gekocht, bis der anfangs milchig ausgeschiedene Schwefel sich am Boden zusammengeballt hat, so daß die überstehende Flüssigkeit klar ist. Der Schwefel wird abfiltriert, das Filter ausgewaschen und im Filtrat werden die Kalkerde, die Magnesia und die Alkalien bestimmt.

Kapitel 60.

Die Bestimmung der dem Pflanzenwachstum schädlichen Stoffe im Boden.

Es gibt eine Anzahl von Stoffen, die, wenn sie dem Boden nur in irgendwie nennenswerter Weise beigemengt sind, das Wachstum der Kulturpflanzen auf das schwerste beeinträchtigen. Dahin gehören sauer reagierende Humussäuren, Kochsalz, freie Schwefelsäure, Eisenvitriol und Schwefelkies. Die vier erstgenannten Stoffe erhält man bereits bei einem Wasserauszuge des Bodens in Lösung, während der Schwefelkiesnachweis eine besondere Behandlung des Bodens verlangt.

1. Die Humussäure. Humose Böden, in denen man das Vorhandensein von sauer reagierender, schädlicher Humussäure vermutet, übergießt man mit destilliertem Wasser, rührt gut um und läßt unter häufigem Umschütteln das Wasser 2 Tage auf den Boden einwirken. Nach dem Absitzen hebt man einen Teil des über dem Boden stehenden Wassers ab und prüft mit blauem Lackmuspapier, ob dasselbe sich stark rötet, der Boden also eine saure Reaktion zeigt. Ist dies der Fall, so fügt man zu der stark eingedampften Lösung einige Tropfen Baryumchlorid. Bildet sich kein oder wenigstens kein nennenswerter Niederschlag von Baryumsulfat, so ist das ein Zeichen, daß freie oder gebundene Schwefelsäure nur in geringen Mengen oder gar nicht vorhanden und die saure Reaktion des Wassers der sauren Humussäure zuzuschreiben ist.

2. Kochsalz. 500 g Feinboden werden mit 1 Liter destillierten Wassers unter häufigem Schütteln 2 Tage lang behandelt; nach dem Absitzen hebert man von der Flüssigkeit 100 ccm ab, überzeugt sich in einer kleinen besonders abgeheberten Probe durch Zufügung von Baryumchlorid vom Fehlen der Schwefelsäure, dampft auf etwa 50 ccm ein, nachdem man eine Kleinigkeit Natriumkarbonat hinzugefügt hat und filtriert dann die Flüssigkeit. Zum Filtrat fügt man etwas Salpetersäure, erhitzt und fällt aus der

kochenden Lösung das Chlor durch eine Lösung von Silbernitrat aus; während des Ausfällens muß man ununterbrochen mit einem Glasstabe umrühren, bis das entstandene Chlorsilber sich zusammenballt und die Flüssigkeit klar wird. Man filtriert, trocknet den mit heißem Wasser ausgewaschenen Niederschlag bei 100° C., löst ihn vom Filter, bringt ihn in einen Porzellantiegel, verglüht das Filter, regeniert das etwa reduzierte Silber durch einen Tropfen Salzsäure und erwärmt dann unter allmählicher Steigerung der Hitze bis zum Zusammenschmelzen des Chlorsilbers. Nach dem Erkalten wägt man und erhält durch Multiplikation des gefundenen Chlorsilbergewichtes in Grammen mit dem Faktor 0,407 den Kochsalzgehalt in Prozenten des Bodens. Der Boden ist unfruchtbar, wenn der Kochsalzgehalt 0,1 Prozent übersteigt.

3. Die Bestimmung der Schwefelsäure, des Eisenvitriols und des Schwefeleisens. Zur Bestimmung dieser drei Stoffe werden in der Preußischen Moorversuchsstation folgende Methoden angewendet[1]):

Der Gehalt des Bodens an freier Schwefelsäure und an Eisenvitriol entsteht durch die Zersetzung von Zweifachschwefeleisen, FeS_2, welches meist in der leicht oxydierbaren Form von Markasit oder Wasserkies in ihm enthalten ist oder war. Alle drei Stoffe spielen besonders in Mooren und ihrem Untergrunde dadurch eine hervorragende Rolle, daß sie durch ihre schädlichen Einflüsse auf das Pflanzenleben die Anlage der sonst so vortrefflichen Rimpauschen Moorkulturen verhindern oder in schon angelegten Kulturen die Ertragsfähigkeit des Moores schwächen oder ganz aufheben.

Um zunächst zu ermitteln, ob überhaupt freie Schwefelsäure oder Eisenvitriol im Moore oder dem unterlagernden Sande vorhanden ist, wird in der bereits angegebenen Weise ein Wasserauszug des Bodens hergestellt und mit rotem Blutlaugensalze versetzt. Entsteht dabei, bei gleichzeitiger saurer Reaktion, eine blaue Färbung, so wird dadurch das Vorhandensein von Eisenoxydul und freier Schwefelsäure angezeigt. In diesem Falle werden die im wässerigen Auszuge enthaltenen Mengen von Eisenoxydul, Kalkerde, Magnesia, Kali, Natron, Schwefelsäure und Chlor nach der üblichen chemischen Methode quantitativ bestimmt und es wird berechnet, wieviel Schwefelsäure nach Sättigung der Basen mit Chlor und Schwefelsäure noch übrig bleibt. Dieser Rest ist als freie Schwefelsäure zu betrachten, während das Eisenoxydul den Vitriolgehalt angibt.

Diese Methode ist für sandige Bildungen durchaus zuverlässig, während bei Moorbildungen eine Fehlerquelle in dem Umstande liegt, daß ein Teil der Basen an Humussäure gebunden ist; infolgedessen wird der Gehalt

[1]) M. Fleischer, Die natürlichen Feinde der Rimpauschen Moordammkultur. Protokoll der 20. Sitzung der Zentral-Moorkommission am 27. und 28. November 1885 zu Bremen. Berlin 1886. S. 50—57.

an freier Schwefelsäure gar nicht oder zu niedrig gefunden. Der praktischen Bedeutung der Methode dürfte dieser Umstand jedoch kaum Eintrag tun, da kaum zu bezweifeln ist, daß die humussauren Basen mit dem schwefelsauren Eisenoxydul im Boden sich sehr bald in der Weise umsetzen werden, daß Alkali-, bezw. Erdsulfate und humussaures Eisenoxydul entstehen, die nicht aufgefundene Menge freier oder an Eisenoxydul gebundener Schwefelsäure mithin in Wirklichkeit nicht oder nicht lange schädlich wirken wird. Bei Anwesenheit größerer Mengen freier oder an Eisenoxydul gebundener Schwefelsäure kommt übrigens der beregte Fehler kaum in Betracht.

Sind die vorhandenen Mengen von schwefelsaurem Eisenoxydul sehr gering, und stehen nicht genügend große Proben für die Untersuchung zur Verfügung, so wird behufs quantitativen Nachweises von wasserlöslichem Eisenoxydul in der Weise verfahren, daß man die Moor- oder Sandprobe in einem Bechergläschen etwa mit dem doppelten Volumen Wasser übergießt und eine Messerspitze voll zerriebenen roten Blutlaugensalzes zusetzt. Zeigt sich auch nach 24stündigem Stehen keinerlei Blaufärbung, so kann man mit Sicherheit auf die Abwesenheit von Eisensulfat schließen. Ist dagegen letzteres vorhanden, so bildet sich entweder an der Oberfläche der festen Masse eine blaue oder bläuliche Zone, oder man erkennt auch deutlich an einzelnen Stellen derselben und ganz besonders an den etwa vorhandenen Holzresten eine blaue Ablagerung. Bei den Sandproben pflegt die Reaktion sehr deutlich zu sein, während sie bei Moorproben infolge der dunklen Farbe des Hintergrundes schwer zu erkennen ist.

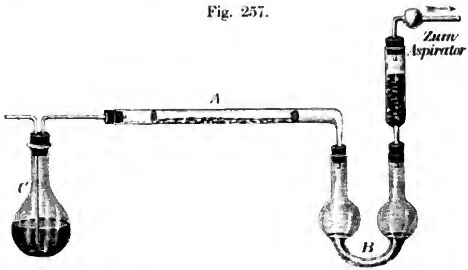
Zur qualitativen Nachweisung des Schwefeleisens verfährt man in der Weise, daß man die Bodenprobe in einem Platintiegel mit aufgelegtem Deckel bis zur anfangenden Rotglut erhitzt, dann den Deckel abnimmt, den Tiegelinhalt schnell in eine Porzellanschale wirft (so daß er der Luft eine große Oberfläche darbietet) und letztere sofort an die Nase führt. Selbst sehr geringe Mengen an schwefliger Säure machen sich so der letzteren bemerklich.

Zur quantitativen Bestimmung der beim Glühen ausgetriebenen schwefligen Säure und Schwefelsäure bedient man sich des umstehend abgebildeten Apparates (Fig. 257).

A ist eine Röhre aus böhmischem Glase, welche an dem einen Ende ausgezogen und rechtwinklig gebogen ist. Sie dient zur Aufnahme der Substanz, nach deren Menge sich ihre Länge richtet. Nachdem ein Stopfen aus Glaswolle in das ausgezogene Ende geschoben ist, läßt sich die Substanz mittels eines Trichters leicht einfüllen. Ein zweiter Glaswollstopfen wird am anderen Ende eingeschoben, das Rohr in einen Verbrennungsofen gelegt und in der aus der Zeichnung ersichtlichen Weise mit einem Absorptionsgefäße in Verbindung gebracht, welches mit Glasperlen gefüllt

ist, die mit schwefelsäurefreier Kalilauge benetzt sind. Ein mit letzterer verbundener Aspirator ermöglicht das konstante Durchleiten eines Luftstromes durch das Glührohr; *B* ist ein zum Teil mit neutraler Lakmuslösung gefülltes Kugelrohr; letztere darf ihre Farbe nicht verändern. Das mit Wasser gefüllte Gefäß *C* dient bloß zur Kontrolle der Stärke des Luftstromes. Nachdem der Aspirator in Gang gesetzt worden, wird das Rohr von hinten nach vorne fortschreitend bis zur Rotglut erhitzt. Ist es in vollem Glühen, so werden schließlich noch mittels einer Flamme die im ausgezogenen Röhrenteile sich verdichtenden Destillationsprodukte möglichst weit nach

Fig. 257.



unten getrieben, so daß sie nach Beendigung der Operation sich leicht mittels der Spritzflasche vollends herausspülen lassen. Die Kalilauge der Vorlage wird mit Salzsäure übersättigt, mit Brom versetzt, um die schweflige Säure in Schwefelsäure überzuführen, das Brom durch Kochen entfernt und die Schwefelsäure in bekannter Weise gewichtsanalytisch bestimmt.

Nach den angegebenen Methoden wird die in pflanzenschädlicher Form vorhandene Schwefelsäure folgendermaßen berechnet:

1. als freie Schwefelsäure vorhanden (der Schwefelsäurerest, welcher nach Verrechnung auf die Basen des Wasserauszuges übrig bleibt);

2. Schwefelsäure in Eisenvitriol enthalten (berechnet aus dem Eisenoxydulgehalt des Wasserauszuges);

3. Schwefelsäure, welche aus Schwefeleisen entstehen kann (durch Glühen des mit Wasser extrahierten Bodens erhalten).

Eine von Wahnschaffe erprobte Methode, durch welche man den Schwefelgehalt des Bodens neben vorhandener Schwefelsäure genau ermitteln kann, möge hier ebenfalls Erwähnung finden.

5—10 g des mit Wasser extrahierten und fein gepulverten Bodens werden mit 20 ccm destilliertem Wasser und 5 ccm reinem schwefelsäurefreiem

Brom in einer böhmischen Glasröhre eingeschmolzen und in einem Wasserbade allmählich unter häufigem Umschütteln bis auf 70° C. erhitzt. Durch das Brom wird der vorhandene Schwefel zu Schwefelsäure oxydiert. Die Röhre wird nach dem völligen Erkalten in der S. 546 angegebenen Weise geöffnet, ihr Inhalt in ein Becherglas hineingespült, mit Wasser verdünnt und so lange erhitzt, bis kein Bromgeruch mehr wahrnehmbar ist. Darauf filtriert man den Boden ab und fällt die Schwefelsäure im Filtrat in der oben angegebenen Weise. Die aus dem Wasserauszug erhaltene Schwefelsäure zieht man darauf von der Gesamtschwefelsäure ab und berechnet den Rest auf Schwefel, indem man ihn mit dem Faktor 0,4 multipliziert.

Bei Anwesenheit von großen Mengen Gips ist die Methode nicht anwendbar, da in diesem Falle nicht alle Sulfate durch den Wasserauszug extrahiert werden.

Kapitel 61.

Die Bestimmung des spezifischen und Volumgewichtes.

Das spezifische Gewicht des Bodens wird nach der im zweiten Teile dieses Werkes beschriebenen Methode mittels des Pyknometers bestimmt, wogegen man das Volum- oder Litergewicht des Bodens in verschiedener Weise feststellt, je nachdem man den Boden in lufttrockenem Zustande in ein Meßgefäß einschüttet oder ihn mit Wasser in dasselbe einschwemmt.

Bei Bodenarten von geringerem Humusgehalt wird man nach den Versuchen von R. Heinrich[1]) nur die erstgenannte Methode anzuwenden brauchen, da sie nahezu die gleichen Resultate liefert, wie das Einschwemmen.

Man füllt zu diesem Zwecke einen 100 ccm enthaltenden Maßzylinder mit lufttrockenem, in einer Reibschale möglichst gleichmäßig zerriebenem Boden, indem man ihn in kleinen Portionen einträgt und durch sanftes Aufschlagen des Gefäßes auf einer Korkunterlage so lange verdichtet, bis eine Volumverringerung nicht mehr stattfindet. Man wird hierzu, je nach der Bodenart, ½—1 Stunde Zeit gebrauchen und muß dafür Sorge tragen, daß das Gefäß während der Behandlung immer wieder bis zur Marke mit dem Boden angefüllt wird. Von einer besonderen Probe wird zu gleicher Zeit das bei 100° C. entweichende hygroskopische Wasser bestimmt und das durch Wägung ermittelte Litergewicht stets auf bei 100° C. getrocknete Substanz bezogen.

Wird das Litergewicht des Bodens durch das Gewicht des gleichen

[1]) R. Heinrich, Grundlagen zur Beurteilung der Ackerkrume in Beziehung auf landwirtschaftl. Pflanzenproduktion. Wismar 1882. S. 220 u. 221.

Volumens Wasser dividiert, so erhält man das „scheinbare spezifische Gewicht“ des Bodens.

Dividiert man nun dieses scheinbare spezifische Gewicht des Bodens durch das wirkliche, so drückt der Quotient die Porosität des Bodens aus, d. h. den Raum, welcher beim Boden von trockener Beschaffenheit (das Volumen desselben gleich 1 gesetzt) durch Luftteilchen eingenommen wird. Dieses Porenvolumen wird häufig auf 100 Volumteile des Bodens berechnet.

Um das Volumen zu bestimmen, welches ein mit Wasser völlig aufgeschlämmter Boden besitzt, schüttet man nach E. Wolff[1]) 25—30 g der lufttrockenen und feingepulverten Erde, deren Litergewicht man bereits kennt, in einem graduierten Rohre tüchtig mit Wasser, welches 1 Prozent Salmiak enthält und läßt darauf absitzen. Die Ablesung des Volumens geschieht nach 24 Stunden. Bei der Berechnung stellt man das Verhältnis fest, welches zwischen dem Volumen des Bodens im aufgeschlämmten Zustande und dem gleichen Volumen Boden in trockenem Zustande besteht, indem man letzteres als Einheit zu Grunde legt.

Kapitel 62.

Die Bestimmung der Wasserkapazität.

Die Fähigkeit des Bodens, bei der Berührung mit Wasser eine gewisse Menge desselben zurückzuhalten, bezeichnet man als Wasserkapazität oder wasserhaltende Kraft.

Sie ist von sehr verschiedenen Eigenschaften der Ackerkrume und ihres Untergrundes abhängig: vor allen Dingen von der mechanischen Zusammensetzung, also der Korngröße des Bodens, wobei der Gehalt an feinsten Teilen eine wichtige Rolle spielt, sodann von dem Humusgehalt, durch den z. B. die Torfe ihre hohe Wasserkapazität erhalten, von der hohen oder tiefen Lage des Bodens und seinem Verhältnis zum Grundwasserstande, und endlich von den Lagerungsverhältnissen der Untergrundschichten.

Man hat die Wasserkapazität durch Versuche im Laboratorium und auf dem Felde zu ermitteln versucht. Infolge der sehr abweichenden Resultate jedoch, die man in beiden Fällen erhält, haben sich bereits E. Wolf und neuerdings R. Heinrich sehr bestimmt dahin ausgesprochen, daß die Kapazitätsbestimmung der Bodenarten für Wasser eigentlich nur mit dem Boden in seiner natürlichen Lagerung auf dem Felde ausgeführt werden

[1]) E. Wolf, Anleitung zur chemischen Untersuchung landwirtschaftl. wichtiger Stoffe. Berlin 1875. S. 80—81.

dürfte, wenn man Zahlenverhältnisse erlangen will, welche für die Praxis der Pflanzenkultur verwertbar sind.

Man verfährt nach R. Heinrich zu diesem Zwecke folgendermaßen. Um den Boden in seiner natürlichen Lage auf dem Felde mit Wasser zu sättigen, wird ein runder Blechzylinder von 20 cm Durchmesser und 40 cm Höhe mit dem unteren zugeschärften und aus starkem Eisenblech bestehenden Rande 1—2 dm tief in den Boden eingetreten. Zu diesem Zwecke ist der Zylinder seitlich mit zwei Trittleisten versehen, während innerhalb in seinem oberen Teile ein feines Sieb angebracht ist, um den Fall des einzugießenden Wassers zu mildern und den Boden nicht mechanisch aufzuschlämmen. Nachdem der Zylinder fest eingetreten ist, so daß seitwärts kein Wasser ausfließen kann, wird er mit Wasser ganz vollgefüllt. Man läßt nun das Wasser in den Boden einziehen und bedeckt letzteren, um ihn gegen Verdunstung und andere Einflüsse zu schützen, mit einem Brett oder einem Bogen Pergamentpapier. Die Probeentnahme geschieht nach Verlauf von 18—24 Stunden, da erst dann nach den Versuchen von Heinrich die festgehaltene Wassermenge für längere Zeit konstant bleibt. Man sticht nach dem Herausnehmen des Zylinders die Erde mit einem Spaten aus der Mitte der von dem Blechzylinder begrenzten Fläche heraus, gebraucht jedoch dabei die Vorsicht, die Fläche des Spatens immer von der zu entnehmenden Probe sanft abzudrängen. Die oberste 2—4 cm starke Bodenschicht wird entfernt und aus der Mitte der durchtränkten Oberkrume ein Stück mit dem Messer herausgeschnitten und in eine luftdicht verschließbare Pulverflasche von bekanntem Gewicht eingefüllt. Das Wasserquantum, welches der Boden zurückhält, wird durch anhaltendes Trocknen bei 100° C. der in der Flasche gewogenen Probe ermittelt und auf 100 g sowie auf 1 Liter Boden berechnet. Die über 0,5 cm großen Steinchen, welche sich in der Probe befinden, werden späterhin ausgelesen und ihr Gewicht in Abzug gebracht. Die geringe Menge Wasser, welche diesen Steinen anhaftet, kann unberücksichtigt bleiben.

Die soeben beschriebene Methode ist später von Heinrich dahin abgeändert[1]), daß der Boden bis zum Untergrunde ausgehoben und der Zylinder auf den Untergrund gesetzt wird. Die Ackerkrume wird dann außerhalb des Blechzylinders in ihre frühere Lage gebracht, dagegen ein Teil der Krume durch das Sieb mit möglichst wenig Wasser eingeschlämmt, so daß alle gröberen Steine zurückbleiben. Zur Wasserbestimmung wird der Boden nach etwa 24 Stunden mit einem Hohlbohrer ausgehoben, dessen untere Öffnung einer Fläche von 1 qcm entspricht.

---

[1]) R. Heinrich, Nachrichten aus dem Klub der Landwirte zu Berlin. 1886. Nr. 178 u. 179. S. 1289.

Kapitel 63.

Die Bestimmung der Verdunstungsfähigkeit des Bodens.

Bei der Bestimmung der Verdunstungsfähigkeit des Bodens muß man ebenfalls die natürlichen Verhältnisse möglichst nachzuahmen suchen, indem man eine hinreichend dicke Erdschicht dem wechselnden Einfluß der direkten Sonnenbestrahlung und der Beschattung aussetzt. Man verwendet hierzu zweckmäßig die bei der Bestimmung der Wasserkapazität im Laboratorium benutzten zylindrischen Zinkrohre mit Siebboden. Sie werden nach E. Wolffs Angabe mit einer engen Hülse von dicker Pappe umgeben und mit Boden gefüllt im Zustande der vollen Sättigung mit Wasser nebeneinander in ein Holzkistchen gestellt, dessen verschiebbarer Deckel dem Durchmesser der Zylinder entsprechende Ausschnitte besitzt, so daß die seitliche Sonnenbestrahlung völlig abgehalten wird. Dieses Kistchen wird ins Freie gestellt, während man alle 24 Stunden die Zinkröhren aus den Hülsen herausnimmt und ihre Gewichtsabnahme durch Wägung ermittelt. Hierbei ist die Temperatur und der Feuchtigkeitszustand der umgebenden Luft, der jeweilige Barometerstand und die wolkige oder wolkenlose Beschaffenheit des Himmels zu notieren. Da das Gewicht der angewandten Menge des lufttrockenen Bodens, sowie die von ihm festgehaltene größte Wassermenge bekannt sind, so kann man die Verdunstungsfähigkeit entweder in Prozenten der bei 100° getrockneten Substanz oder in Prozenten der gesamten absorbierten Wassermenge angeben.

Eine andere Methode zur Prüfung der Verdunstungsfähigkeit des Bodens rührt von W. Wolf her. Die dadurch erhaltenen Resultate weichen jedoch wesentlich von denen der zuerst beschriebenen Methode ab.

Drahtnetzwürfel von 6 cm Durchmesser, deren obere Seite offen ist, werden an den Innenflächen mit Fließpapier belegt und unter gelindem Aufklopfen mit lufttrockenem Feinboden gefüllt. Darauf werden sie 2 cm tief in destilliertes Wasser eingesenkt, bis sich der Boden ganz mit Wasser vollgesaugt hat. Nach dem Wägen werden sie in der Luft frei aufgehängt. Unter Berücksichtigung der Temperatur wägt man die Würfel in Zwischentäumen von 12 zu 12 Stunden, bis der Boden seinen ursprünglichen lufttrockenen Zustand wieder angenommen hat.

Kapitel 64.

Die Bestimmung der Filtrationsfähigkeit des Bodens.

Unter der Filtrationsfähigkeit des Bodens versteht man die Eigenschaft desselben, das Wasser in längerer oder kürzerer Zeit durchsickern zu lassen. Um diese Fähigkeit zahlenmäßig festzustellen, bedient

man sich nach E. Wolff eines 25 cm hohen und 3 cm weiten viereckigen Zinkkästchens, welches unten mit einem trichterförmigen Ansatz mit Ausflußrohr versehen ist. Das letztere wird mit Baumwolle verschlossen, welche ein wenig aus dem Rohre herausragt. Zur Ausfüllung der trichterförmigen Einschnürung des Apparates wird grober Quarzsand in ihn hineingeschüttet. Erst nachdem die Baumwolle und der Sand mit Wasser durchfeuchtet sind, wird der Apparat gewogen. Darauf füllt man eine 16 cm mächtige Schicht lufttrockenen Bodens unter fortwährendem gelinden Aufklopfen auf einer weichen Unterlage in das Kästchen ein und wägt von neuem. Der Boden wird mit Wasser übergossen und das Kästchen, wenn kein Abtropfen mehr stattfindet, wiederum gewogen. Man erhält so die volle Wasserkapazität.

Nun gießt man 8 cm hoch Wasser oben auf den Boden, ohne ihn aufzurühren, und bestimmt, wieviel Zeit dazu gehört, bis kein Abtropfen an der Ausflußröhre mehr stattfindet. Die Filtrationsfähigkeit dieser 16 cm hohen Bodenschicht im Zustande der vollen Wasserkapazität für eine 8 cm hohe Wassersäule wird in Stunden angegeben. Da jedoch bei der Wiederholung des Versuches fast immer mehr Zeit zum Durchfiltrieren gebraucht wird als beim ersten Male, so muß man das Experiment 5—6mal wiederholen und aus den Resultaten das Mittel nehmen. Bei sehr tonigen Bodenarten ist diese Methode nicht anzuwenden, da das aufgegossene Wasser darüber steht, ohne abzufließen.

Man kann den Versuch auch so ausführen, daß man in einen graduierten Zylinder jedesmal genau 50 ccm hineintropfen läßt und die dazu verbrauchte Zeit notiert.

Auch die mechanische Analyse gestattet sichere Rückschlüsse auf die Durchlässigkeit und auf verschiedene wichtige Eigenschaften des Bodens (undurchlässig, naß, kalt, träge bezw. durchlässig, trocken, warm, tätig etc.).

Kapitel 65.

Die Bestimmung des Aufsaugungsvermögens des Bodens.

Wenn das auf die Oberfläche eines Bodens gelangende Wasser einzig und allein der Anziehungskraft der Erde zu folgen hätte, so würde es auf hochgelegenen Plateaus, die nach allen Seiten hin abfallen, sehr bald in die tieferen Schichten des Untergrundes hinabsinken. Allein dieser Schwerkraft wirkt das Vorhandensein von feinen kapillaren Hohlräumen innerhalb des Bodens entgegen, infolgedessen er im stande ist, sich vor dem gänzlichen Austrocknen zu schützen, indem das in den tieferen Schichten zirkulierende Grundwasser dadurch in die Höhe gehoben und so den Wurzeln zugeführt

wird. Das Aufsaugungsvermögen steht also in engster Beziehung zu der mechanischen Zusammensetzung des Bodens; je feiner die Gemengteile, desto mehr kapillare Hohlräume und desto größer das Aufsaugungsvermögen. Das kapillar festgehaltene Wasser bestimmt im wesentlichen den Kulturwert des Bodens, während jeder Überschuß an Grundwasser die Vegetation benachteiligt und durch Entwässerungsanlagen beseitigt werden muß. Aus diesem Grunde wird beispielsweise der Wasserstand in den Abzugsgräben der Rimpauschen Moordammkulturen stets 1 m unter der Oberfläche gehalten.

Um das Aufsaugungsvermögen oder die Kapillaranziehung durch den Versuch festzustellen, werden 100 cm lange

Fig. 258.



Glasröhren von 2 cm lichtem Durchmesser am unteren Ende mit feinem Mull verschlossen, indem man zweckmäßig einen Kautschukring darüberzieht (Fig. 258 *D*). Die Röhren werden unter gelindem Aufklopfen mit lufttrockenem Feinboden (unter 2 mm) gefüllt und in senkrechter Stellung 1—2 cm tief in eine mit Wasser gefüllte Glaswanne *B* eingesenkt. Wahnschaffe empfiehlt dazu als zweckmäßig das in Figur 258 abgebildete Stativ *A*, welches für zehn Röhren *C* eingerichtet ist, die oben, um sie im Wasser schwebend zu erhalten, durch einen Kautschukring *E* befestigt sind.

Man ermittelt nun mit Hilfe eines Metermaßstabes, wieviel Zeit die Flüssigkeit gebraucht, um von unten her 20—30—40—50—60—70 cm hoch aufzusteigen, und in welcher Zeit sie das Maximum des Aufsteigens

erreicht hat. Das aus der Glaswanne von dem Boden aufgenommene Wasser ist stets zu ersetzen.

Man kann den Versuch auch derartig anstellen, daß man die Höhen mißt, bis zu welchen die Flüssigkeit in 24—48—72—96—120 Stunden gestiegen ist.

Von Interesse ist es auch, wenn man nach Beendigung des Versuches die Röhren in 1 dcm lange Stücke zerschneidet und den Wassergehalt in ihnen getrennt bestimmt. Beiläufig sei hier bemerkt, daß man die Röhren von 100 cm Länge auch dazu benutzen kann, um festzustellen, wie tief und wie schnell eine Wassersäule von bestimmter Höhe (z. B. von 10 cm) in den lufttrockenen Boden von oben her sich einsenkt.

Auch einzelne Bodenkonstituenten und die durch die mechanische Analyse getrennten Körnungsprodukte des Bodens auf ihre Kapillarität zu untersuchen, ist von besonderem Werte. In dieser Hinsicht kann besonders auf die Arbeiten von Ad. Mayer[1]) und v. Klenze[2]) verwiesen werden, die sehr wertvolle Resultate zur praktischen Beurteilung der verschiedenen Bodenarten geliefert haben.

Kapitel 66.

Die Bestimmung der Durchlüftungsfähigkeit des Bodens.

Die Durchlüftungsfähigkeit des Bodens, d. h. der größere oder geringere Widerstand, welchen verschiedene Bodenarten im nassen Zustande dem Durchtritt der Luft entgegensetzen, ist von R. Heinrich mit Recht als eine für die Beurteilung des Bodens sehr wichtige Eigenschaft bezeichnet worden. Von ihr soll es einzig und allein abhängen, ob eine Drainage auf dem Felde auszuführen ist oder nicht.

Der Versuch wird nach R. Heinrichs[3]) Angabe in folgender Weise ausgeführt. Nachdem der Boden mittels des bei Bestimmung der Wasserkapazität auf freiem Felde beschriebenen Blechzylinders (S. 557) durchfeuchtet worden ist und eine konstante Wasserkapazität erlangt hat, wird ein unten offener, viereckiger Kasten aus starkem Zinkblech von 100 qcm Querschnitt und 20 cm Höhe (Fig. 259 *C*) 10 cm tief in den Boden eingesenkt. An der Außenseite des Kastens ist ein 5 cm breites Zinkblech in 10 cm Höhe rechtwinklig angelötet, so daß der Kasten auf diese Weise genau bis zu der angegebenen Tiefe in den Boden eingetreten werden kann

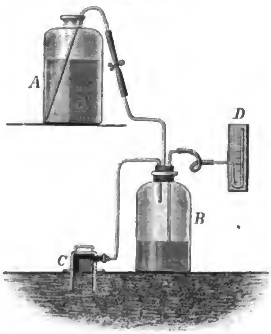
[1]) Ad. Mayer, Lehrbuch d. Agrikulturchemie. 2. Aufl. II. T. S. 132 ff.

[2]) v. Klenze, Über kapillare Wasserleitung im Boden. Landw. Jahrb. 1877. S. 83 ff.

[3]) a. a. O. 221 u. 222.

und demnach einen Erdwürfel von 1000 ccm umschließt. Der über der Erde befindliche Teil des Kastens dient als Windkessel und steht durch ein seitlich angelötetes Rohr mit einer Flasche *B* von 10 Liter Inhalt in Verbindung. Dadurch, daß man aus einer höherstehenden Flasche *A* mittels eines Hebers Wasser in die Flasche *B* einfließen läßt, wird die Luft in letzterer komprimiert und durch den Boden hindurchgepreßt. An der Flasche *B* ist ein Wasser- oder Quecksilbermanometer *D* angebracht, durch

Fig. 259.



welches der Luftdruck gemessen werden kann. Durch Heben und Senken des Wasserreservoirs *A* kann derselbe beliebig gesteigert oder vermindert werden.

Bei dem Versuch läßt man jedesmal so viel Wasser einfließen, bis das Manometer die gewünschte Druckhöhe anzeigt. Sodann stellt man durch Schließen des Quetschhahnes den Wasserzufluß ab und wartet 1—2 Minuten. Hat sich der Druck in dieser Zeit verringert, so läßt man wiederum Wasser zufließen, bis die zuerst eingestellte Druckhöhe erreicht ist. Indem man den Versuch in der angegebenen Weise fortsetzt, ermittelt man die Zeit, welche erforderlich ist, um 10 Liter Luft bei bestimmtem Manometerstande durch 1 Liter Boden hindurchzupressen.

Später hat Heinrich[1]) den Durchlüftungsversuch dahin abgeändert, daß er ihn zugleich mit der Wasserkapazitätsbestimmung verband, indem er in dem Siebe des dabei in Anwendung kommenden Blechzylinders durch einen Tubus ein Rohr befestigte, welches bis auf den Untergrund hinabgesenkt wurde und sich an seiner Unterseite zu einer 1 qcm weiten Öffnung

[1]) Nachrichten aus dem Klub der Landwirte zu Berlin. Jahrgang 1886. Nr. 178 u. 179. S. 1289 u. 1290.

erweiterte. Das durch Wasser bewirkte Einschlämmen der Erde durch das Sieb wird erst nach Einsenkung des Rohres ausgeführt. Mit dem über das Sieb hervorragenden Ende der Röhre wird statt der 10-Literflasche ein mit Manometerrohr versehener Maßzylinder verbunden, in welchen man durch den Heber Wasser in beliebiger Menge und Stärke einfließen lassen kann. Für das in den Maßzylinder einfließende Wasser wird ein entsprechendes Luftquantum durch den Boden getrieben. Man ermittelt nun durch Ablesen im Maßzylinder, wieviel Kubikzentimeter Luft bei 2—5—10—20—30—40 cm Wasserdruck in 5 Minuten durch den Boden hindurchgepreßt werden.

Kapitel 67.

Die Bestimmung der Wärmeabsorption des Bodens.

Eine äußerlich mit dicker Asbestpappe überzogene zylindrische Glaswanne von 4 cm Höhe und 16 cm Durchmesser wird mit lufttrockenem Feinboden bis obenhin angefüllt, darauf in eine Holzkiste eingesenkt, deren Deckel einen dem Querschnitte des Gefäßes entsprechenden Ausschnitt besitzt und der direkten Sonnenbestrahlung 6 Stunden lang ausgesetzt. Man ermittelt nun durch ein Maximumthermometer, welches 1 cm tief in den Boden eingebettet worden ist, bis zu welcher Temperatur sich der Boden in der angegebenen Zeit erwärmt hat. Der Versuch wird unter möglichst gleichen Verhältnissen in der Weise wiederholt, daß man das Thermometer 2, 3 und 4 cm tief in den Boden einbettet und das Maximum der Bodenerwärmung ebenfalls feststellt.

Die Erwärmungsfähigkeit des Bodens ist von den verschiedensten Umständen abhängig. Es kommt hier in Betracht die spezifische Wärme[1]) oder Wärmekapazität der Bodenarten, d. h. ihr verschiedenes Verhalten hinsichtlich der Aufnahme verschiedener Mengen von Wärmeeinheiten, um ihre Temperatur um 1° C. zu erhöhen, ferner die Farbe[2]) der Bodenarten und ihre mehr oder weniger geneigte Lage.

Bei den mit Feuchtigkeit durchtränkten Bodenarten, wie sie sich auf dem Felde finden, ist jedoch ihr größerer oder geringerer Wassergehalt auf

---

1) Vgl. die Untersuchungen von Pfaundler in Poggend. Annalen Bd. 129. S. 102 ff. und von C. Lang in Wollny, Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. 1878. Bd. I. S. 109 ff.

2) Vgl. Schübler, Grundsätze der Agrikulturchemie. 1830. — Gasparin, Cours d'agriculture. 1843. T. 1. S. 182. — E. Wollny, Untersuchungen über den Einfluß der Farbe des Bodens auf dessen Erwärmung. (Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik. Bd. I. 1878. S. 43—69 und Bd. IV. 1881. S. 327 bis 365.)

die Wärmeabsorption von größter Bedeutung. Während ein Kilogramm Wasser 100 Wärmeeinheiten bedarf, um auf 1° C. erhöht zu werden, gebraucht dieselbe Gewichtsmenge Ton und Sand zu der gleichen Temperaturerhöhung nur 17,8 bezw. 12,8 Wärmeeinheiten. Dazu kommt noch, daß ein feuchter Boden durch die an seiner Oberfläche stattfindende Verdunstung bedeutend abgekühlt wird. Daher wird ein an Nässe leidender Acker stets zugleich als kalt bezeichnet werden können.

Untersuchungen über die Maximal- und Minimaltemperaturen der Ackerkrume innerhalb eines Tages, einer Woche und eines Monats, zu denen man zweckmäßig Maximum- und Minimumthermometer nach dem System Six-Kapeller verwendet, indem man sie 1—2—5—10 cm tief in den Boden einbettet, sind von großem Wert, wenn die Resultate mit den gleichzeitigen Lufttemperaturen verglichen und zu der Pflanzenproduktion des Bodens in Beziehung gesetzt werden.

Kapitel 68.

Die Bestimmung der Benetzungswärme des Bodens.

Um die Summe aller der aus der mechanisch-chemischen Bodenanalyse erhaltenen Resultate in einer einzigen Größe darzustellen, die einen Vergleich der verschiedenen Bodenarten untereinander zuläßt, hat A. Mitscherlich[1]) die Feststellung der Benetzungswärme des Bodens in Vorschlag gebracht. Man versteht darunter die Wärme, welche der Boden bei seiner Benetzung mit Wasser entwickelt. Diese physikalische Eigenschaft ist nach Wilhelmy von der Größe und Form der Oberfläche, sowie von den spezifischen Adhäsionskonstanten der einzelnen Bodenteilchen abhängig. Das physikalische Maß für die Benetzungswärme bildet die Kalorie, und zwar legt man den Berechnungen zweckmäßig die kleine *g*-Kalorie zu Grunde, d. h. diejenige Wärmemenge, welche die Temperatur von 1 g Wasser von 0° bis auf 1° C. zu erhöhen im stande ist. Zu seinen Untersuchungen verwendete Mitscherlich das Bunsensche[2]), von Schuller und Wartha[3]) verbesserte Eiskalorimeter (Fig. 260).

Das Bunsensche Eiskalorimeter besteht aus einem zylindrischen, unten geschlossenen Probierglase *A*, welches oben in ein äußeres, zylindrischeiförmiges Glasgefäß *B* eingeschmolzen ist. Letzteres endigt unten in eine

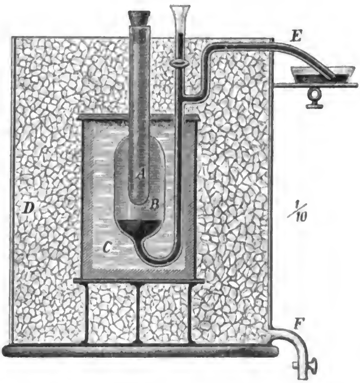
[1]) Beurteilung der physikalischen Beschaffenheit des Ackerbodens mit Hilfe seiner Benetzungswärme. (Journal für Landwirtschaft. Berlin 1898, pag. 255—268.)

[2]) Ann. d. Physik Bd. 141, 1870, pag. 1 ff.

[3]) Ebenda, N. F. Bd. 2, 1877, pag. 359 ff.

nach aufwärts umgebogene Glasröhre, die mit einer kalibrierten, sich seitwärts horizontal abzweigenden Skalenröhre (in Fig. 260 ersetzt durch eine Röhre mit Quecksilbernäpfchen) verbunden ist. Beide Gefäße werden mit abgekochtem destilliertem Wasser gefüllt, der untere Teil des äußeren Gefäßes dagegen mit Quecksilber, das sich bis in die Skalenröhre hinein fortsetzt. Es wird nun um die Außenseite des Proberohres ein Eismantel dadurch gebildet, daß man durch das Proberohr einen zu- und abfließenden Strom tief erkalteten Weingeistes hindurchschickt. Nach Pfaundler erreicht man dies bequemer, wenn man in das mit etwas Weingeist erfüllte Probierrohr eine Kältemischung aus Schnee und Chlorcalcium mittels einer mehrmals gewechselten Glaseprouvette hineinsenkt. Der Eismantel darf

Fig. 260.



die Wandung des im übrigen mit Wasser gefüllten zylindrischen Gefäßes nicht berühren. Das so vorgerichtete Kalorimeter wird nach Schuller und Wartha in ein weiteres zylindrisches Gefäß *C* eingesetzt, welches mit einem 2—3 cm dicken Eismantel ausgekleidet wird. Im übrigen enthält es reines Wasser, dessen Oberfläche mit schneeartigem, an einem Reibeisen geriebenem reinem Eise sorgfältig bedeckt und mittels eines genügend schließenden Deckels vor Verunreinigungen geschützt wird. Dieses letztere Gefäß wird nun ringsum von einem Mantel von gestoßenem Eise umgeben, den ein mit Glasscheiben versehener Rahmen *D* umschließt. Unten befindet sich an diesem Glaskasten, der die Form eines Aquariums besitzt, ein Auslaß mit Hahn *F*, um das entstandene Wasser abzulassen.

In dem Bunsenschen Kalorimeter soll die Menge des durch Wärmezuführung geschmolzenen Eises an der Volumverminderung gemessen werden, welche bei Schmelzung des Eismantels eintritt, wenn dem Wasser von 0° im Probegläschen Wärme zugeführt wird, demnach an der Anzahl der Skalenteile, die der Quecksilberfaden dabei zurückgeht. Die Verbesserung von Schuller und Wartha besteht darin, daß sie das Skalenrohr durch eine Röhre *E* ersetzten, die in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen eintaucht. Durch Wägung des Näpfchens, welches schnell durch ein anderes ausgewechselt werden kann, und Feststellung des Verlustes an Quecksilber, welchen dasselbe bei der Wärmezuführung durch Schmelzen des Eises erfahren hat, ließ sich dieser Wert in Gramm Quecksilber ermitteln.

Zur Bestimmung der Benetzungswärme verwandte Mitscherlich lufttrockene Bodenarten, die durch ein Rundlochsieb von 1,5 mm gesiebt waren. Die Proben wurden im Vakuumexsikkator bei 10° Durchschnittstemperatur über konzentrierter Schwefelsäure getrocknet und in Gläschen eingefüllt, die mit eingeschliffenen Glasstopfen versehen waren. Dann wurden die zu einer Kapillare ausgezogenen Stopfen eingefettet und die Gläschen durch Verbinden mit einer stark evakuierten Glasglocke evakuiert. Die Kapillaren wurden rasch mit einer Stichflamme geschlossen und die Gläschen nach dem Abkühlen mittels einer Rodewaldschen Hebelvorrichtung in das mit destilliertem Wasser von 0° C. gefüllte Probierrohr eingeführt. Nach Temperaturausgleich wurde der Gang des Kalorimeters bestimmt und darauf das Gläschen durch Abbrechen der Kapillare unter Wasser geöffnet, so daß die Benetzung des Bodens eintreten konnte. Nach der Bestimmung, zu der zum Temperaturausgleiche zwei Stunden Zeit gelassen wurden, fand nochmals eine Kontrollierung des Ganges statt. Für die Umrechnung der durch Wägung aus dem Verlust erhaltenen Gramm Quecksilber in kleine *g*-Kalorien auf 1 g Boden wurde der von Schuller und Wartha bestimmte Faktor 0,015 442 benutzt. Die Fehler der Methode ergaben sich aus der Gangdifferenz.

Nach Mitscherlichs Ansicht ist durch seine Versuche gezeigt worden, daß die Benetzungswärme die „Bodenenergie" darstellt, daß sie nicht durch Bestimmung der Hygroskopizität zu ersetzen ist, da sie ihr nicht proportional ist, daß sie den Zersetzungsstadien der Humus- und Tonsubstanzen gerecht wird, und daß sie zu der Fruchtbarkeit der Bodenarten in gewisser Beziehung steht. Diese Fragen sind besonders eingehend in einer neueren Arbeit von Mitscherlich[1]) behandelt worden.

[1]) Landwirtsch. Jahrbuch 1901, Bd. 30, S. 361—445.

B. Mineralogisch-petrographische Untersuchungsmethoden.

Von Prof. Dr. Erich Kaiser, Gießen.

Nur die wichtigsten mineralogisch-petrographischen Untersuchungsmethoden können im folgenden Abschnitte Berücksichtigung finden. Der leitende Gedanke bei der Auswahl war der, immer nur die Methoden zu besprechen, die für den Geologen im allgemeinen in Betracht kommen können, nicht aber alle die Methoden zu behandeln, deren der spezielle Petrograph bedarf, der doch immer zu den ausführlichen Zusammenstellungen von Rosenbusch und Wülfing greifen muß. Daß die Auswahl vielleicht nicht überall gleichmäßig erfolgt ist, liegt in der Natur der Sache begründet. Daß die optischen Methoden keine ausführliche Darstellung gefunden haben, ist aus der Bestimmung der Zusammenstellung für den Geologen herzuleiten. Um diesem aber auch Gelegenheit zu geben, sich näher zu informieren, ist möglichst reichlich von Literaturangaben Gebrauch gemacht worden. — Es möge noch auf die Lehr- und Handbücher, bezw. speziellen Zusammenstellungen hingewiesen werden, in denen weitere Angaben zu finden sind. Die Mehrzahl dieser Werke ist naturgemäß zu den folgenden Zusammenstellungen eifrig benutzt worden.

Mineralogisch-petrographische Untersuchungsmethoden sind außer in den Lehrbüchern der Mineralogie in neuerer Zeit besprochen worden in folgenden Werken:

E. Cohen, Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden nebst Angabe der Literatur. 3. Aufl., Stuttgart 1896.

L. Duparc et F. Pearce, Traité de technique minéralogique et pétrographique, première partie, les méthodes optiques. Leipzig 1907.

Michel Lévy et Lacroix, Les minéraux des roches. Paris 1888.

F. Rinne, Praktische Gesteinskunde. 2. Aufl., Hannover 1905.

H. Rosenbusch und E. A. Wülfing, Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien. 4. Aufl.

1. Hälfte: Allgemeiner Teil von E. A. Wülfing. Stuttgart 1904.
2. Hälfte: Spezieller Teil von H. Rosenbusch. Stuttgart 1905.

E. Weinschenk, Anleitung zum Gebrauche des Polarisationsmikroskops, 2. Aufl., Freiburg i. B. 1906.

— Die gesteinsbildenden Mineralien. 2. Aufl., Freiburg i. Br. 1907.

F. Zirkel, Lehrbuch der Petrographie. 2. Aufl., Bd. I, Leipzig 1893.

H. Behrens, Anleitung zur mikrochemischen Analyse. 2. Aufl., Hamburg und Leipzig 1899.

W. Behrens, Tabellen zum Gebrauche bei mikroskopischen Arbeiten. Braunschweig 1892.

R. Brauns, Chemische Mineralogie. Leipzig 1896.

J. S. Diller, The educational series of rock specimens. Bulletin of the United States geological survey No. 150. Washington 1898.

E. Cohen, Meteoritenkunde, Heft 1. Untersuchungsmethoden und Charakteristik der Gemengteile. Stuttgart 1894.

Fouqué et Michel Lévy, Minéralogie micrographique. Paris 1879.

C. W. C. Fuchs, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. 5. Aufl., bearbeitet von R. Brauns. Gießen 1907.

Fr. v. Kobell, Tafeln zur Bestimmung der Mineralien mittels einfacher chemischer Versuche auf trockenem und nassem Wege. 14. Aufl., bearbeitet von K. Öbbecke. München 1901.

C. Leiß, Die optischen Instrumente der Firma R. Fueß, deren Beschreibung, Justierung und Anwendung. Leipzig 1899.

R. Reinisch, Petrographisches Praktikum. Zwei Teile. Leipzig 1901, 1904. 1. Teil in 2. Aufl. 1907.

F. Rinne, Das Mikroskop im chemischen Laboratorium. Elementare Anleitung zu einfachen kristallographisch-optischen Untersuchungen. Hannover 1900.

J. L. C. Schröder van der Kolk, Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898.

— Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung der Mineralien nach ihrem Brechungsindex. 2. Aufl., von E. H. M. Beekmann. Wiesbaden 1906.

Weisbach, Tabellen zur Bestimmung der Mineralien nach äußeren Kennzeichen. 5. Aufl., 1905.

Kapitel 69.

Isolierung der einzelnen Gesteinsgemengteile.

A. Allgemeine Angaben.

Nur in den seltensten Fällen wird man die zu untersuchenden Mineralkörner gleich in dem Zustande vor sich haben, daß sie sofort einer eingehenden Untersuchung unterworfen werden können. Sei es, daß man ein lockeres Gestein (einen Sand, Ton u. dergl.), oder daß man die einzelnen Gemengteile zu einem Gestein gut verfestigt vor sich hat, immer muß man zur Isolierung der einzelnen Bestandteile schreiten. Das Gestein wird man je nach seiner Korngröße grob oder fein pulvern, oder auch nur einzelne Gemengteile durch Anwendung entweder des Hammers allein oder gleichzeitig von Meißeln, Nadeln oder anderen spitzen Werkzeugen von dem Handstücke abtrennen. Auch für die Isolierung von einzelnen Mineralien aus Kristalldrusen u. dergl. leistet eine in einem Holzschafte (ähnlich einem Federhalter) befestigte gut gehärtete Stahlnadel gute Dienste. Die verfestigten Gesteine zerpulvert man im Stahl- und dann eventuell noch im Achatmörser. Die Durchführung der im einzelnen anzuwendenden Methode muß man verschieden gestalten je nach den Eigenschaften des betreffenden Gesteines und nach den speziellen weiteren Versuchen, die man vornehmen will. Es wird auch nur in den seltensten Fällen eine Methode allein zum Ziele führen.

Bei der Anwendung dieser, wie aller später zu besprechenden Methoden muß das Pulver, das man zu erlangen sucht, möglichst bestimmten Bedingungen genügen, die je nach dem einzelnen Falle nur verschieden gut befriedigt werden können.

1. Jedes Körnchen muß möglichst homogen sein, d. h. nur aus einer einzigen Mineralart bestehen.

2. Die einzelnen Körnchen müssen dabei möglichst gleiche Größe besitzen. Bei völliger, quantitativer Trennung dürfen die einzelnen Körnchen nicht zu klein sein, da die feinsten staubförmigen Bestandteile einer scharfen Trennung viele Hinderungsgründe entgegensetzen. Man wird deshalb die mechanische Zerkleinerung nicht zu weit fortführen.

3. Die abzutrennenden Mineralien müssen möglichst einschlußfrei und möglichst frisch sein. Es muß bei gemengten Gesteinen besonders darauf geprüft werden, ob die einzelnen Körner nur aus einem Mineral bestehen, was durch Prüfung mit der Lupe oder eventuell auch mit dem Mikroskop festzustellen ist. Für diese Prüfungen leisten die jetzt in den Handel gekommenen binokularen Mikroskope, zuweilen auch die binokularen Lupen, auch das auf Seite 618 beschriebene und in Figur 284 abgebildete Lupenstativ vorzügliche Dienste.

Weiter ist für viele weitere Trennungsmethoden die Beseitigung der äußerst störenden staubförmigen Bestandteile sehr wichtig. Zu diesem Zwecke kann man das Gesteinspulver mit Wasser anrühren, und die im Wasser schwebenden, tonigen Bestandteile durch Aufschlämmen im Wasser und Abgießen der getrübten Wassermasse entfernen. Auch Sieben des trockenen Pulvers oder des bei dem vorhergehenden Prozesse erhaltenen und getrockneten Rückstandes kann die Isolierung begünstigen.

Man bedient sich dazu zweckmäßigerweise eines Siebsatzes, wie er zum Schlämmen und Sieben von Diatomeen Verwendung findet und von Dr. Eduard Kayser, Institut für Mikroskopie, Schöneberg-Berlin, Kolonnenstraße 56 oder Dr. Krantz, Bonn, unter der Bezeichnung „Metallsieb zum Diatomaceenschlämmen“ geliefert wird. Der gewöhnliche Satz zu 8 Mark besteht aus fünf Sieben, deren Maschenweite 1—0,2 mm beträgt. Mit einer harten Bürste oder einer Nadel lassen sich diese Siebe ziemlich bequem von eingeklemmten Körnern befreien. Es können auch die zur Bodenuntersuchung verwandten Messingsiebe Verwendung finden (Robert Muencke, Berlin NW., Luisenstraße 58 liefert einen Ring zum Einlegen von Siebscheiben mit $^1/_2$, 1, 2 mm Maschenweite zu 6 Mark). Am zweckmäßigsten sind auch hier, wie bei der Bodenanalyse, Siebe mit runden Löchern. Die mit diesen Sieben erhaltenen gesonderten Korngrößen werden einzeln unter dem Mikroskope bei schwacher Vergrößerung geprüft, ob möglichst jedes Korn aus einem Mineral besteht und zusammengesetzte

Körner nicht mehr vorhanden sind. Auf die größte Korngröße, die dieser Beschaffenheit am nächsten kommt, wird das Gesamtgemenge durch Zerkleinern und Sieben gebracht. Man kann im allgemeinen annehmen, daß, je weniger reich an Einschlüssen die einzelnen Mineralelemente eines Gesteins sind, umso gröber das Pulver für die spätere Behandlung sein kann, und darf auf der anderen Seite nicht außer acht lassen, daß mit zunehmender Feinheit des Kornes die Schwierigkeit der mechanischen Trennung sich steigert, während die Leichtigkeit der chemischen Trennung zunimmt. Ergibt die mikroskopische Vorprüfung, daß einzelne Gesteinselemente sehr zahlreiche Einschlüsse enthalten, so muß die Zerkleinerung weiter getrieben werden, und falls die Maschenweite der Siebe eine Sonderung nicht weiter gestattet, bedient man sich einer feinen Gaze, eines sogenannten Beuteltuches, wie es bei der Gesteinsanalyse Verwendung findet. Man wird durch die Anwendung von Sieben das zu untersuchende Pulver in eine Anzahl verschiedener Korngrößen zerlegen und jede Korngröße dann für sich weiter behandeln. Man wird dabei allerdings verschiedene Homogenität bei den einzelnen Korngrößen erhalten, was unter der Lupe oder dem Mikroskope näher zu prüfen ist.

Tone wird man in größeren Mengen zunächst langsam im Wasser aufweichen und zerfallen lassen und dann mehrfach aufschlämmen, um die in geringer Menge vorhandenen schweren Bestandteile von den mit vorhandenen weißen Quarzen zu trennen. (Siehe auch die Methode der Trennung von schweren Bestandteilen aus Tonen auf Seite 613—614.)

Mergel, Kalksteine und Dolomite wird man zuerst mit Säuren behandeln und dann den Rückstand zerlegen. In Wasser lösliche Gesteine wird man zuerst auslaugen und den Rückstand dann weiter mechanisch trennen.

Um die Trennung bei allen zu besprechenden Methoden möglichst vollkommen zu gestalten, wiederholt man am besten den Prozeß mit den abgetrennten Teilen nochmals.

B. Trennung nach dem absoluten Gewichte.

Auf diesem Prinzip beruhen die zahlreichen Methoden, die in der Bodenkunde besondere Anwendung und in diesem Handbuche bei der Besprechung der mechanischen Bodenanalyse besondere Beachtung gefunden haben. Die dort besprochenen Apparate können auch bei petrographischen Untersuchungen gute Dienste leisten, namentlich wenn es sich um die Trennung von losen Gesteinen, z. B. von Lehm, Löß, von lockeren Verwitterungsprodukten u. dergl. handelt.

Eine einfachere Schlämmmethode wird vielfach angewandt werden können, um die schwereren Bestandteile, in denen gewöhnlich gerade die seltenen Gesteinsgemengteile sich befinden, aus einem lockeren Sande, einem Ver-

witterungsschutte oder auch aus gepulvertem festen Gesteine herauszutrennen[1]).

Man bringt das gesiebte Pulver in eine gewöhnliche Porzellanschale mittlerer Größe und schlämmt zuerst die feinsten, im Wasser schwebend bleibenden tonigen Teilchen ab. Zu dem meist sandigen Rückstand setzt man dann die doppelte Menge Wasser und bringt ihn darin durch Schwenken der Schale auf kurze Zeit in schwebende Bewegung. Dabei senken sich die spezifisch schwereren Teilchen nach unten. Man neigt nun die Schale nach der einen Seite, verlangsamt die Bewegung, gießt das Wasser ab und zieht die oberste Sandschichte mit der Hand, einem Kartenblatte, Glasstabe oder Löffel, bei geringen Mengen auch einer Federfahne beiseite. Den Rückstand behandelt man noch mehrmals in gleicher Weise, bis zuletzt nur ein ganz geringer Rest bleibt, der schon durch sein Aussehen die bedeutende Anreicherung an den gesuchten Mineralien erkennen läßt. Wiederholt man das Verfahren mit dem abgezogenen Sande noch ein paarmal, so kann man fast die ganze Menge der vorhandenen schwereren Mineralien isolieren. Diesen Rückstand wäscht man dann mit destilliertem Wasser und bringt ihn mit einer kleinen Menge desselben nochmals in Bewegung. Dabei trennen sich die schwereren Teilchen fast völlig von den noch vorhandenen leichteren und können nach dem Trocknen mit der Feder von diesen weggenommen werden. Es kommt bei dem ganzen Verfahren auf möglichst genaue Beobachtung der Bewegung der Teilchen in der Schale und Einhalten der Bewegung im Momente der vollzogenen Sonderung an. Mehrfache Wiederholung führt zum Ziele. Bei einiger Geschicklichkeit kann man in wenigen Minuten aus großen Mengen Sand die schweren Bestandteile entfernen. Man wird auch diese Methode zweckmäßig mit anderen verbinden.

Diese Methode ist der Natur abgesehen, die am Meeresstrande, in Fluß- und Bachläufen, ja in den kleinsten, vom Wasser benutzten Rinnen diese Methode anwendet. Es ist dieselbe Methode wie die des Sichertroges[2]) bei der Goldgewinnung u. s. w. Ein Sichertrog oder eine flache Kristallisationsschale kann in vielen Fällen die Porzellanschale auch bei petrographischen Arbeiten ersetzen.

C. Trennung nach dem spezifischen Gewichte.

Diese Methode beruht auf der allgemeinen Eigenschaft, daß ein jeder Körper in der Flüssigkeit schwimmt, die ein gleiches spezifisches Gewicht besitzt wie er, daß er steigt in einer spezifisch schwereren, dagegen sinkt

[1]) Vgl. Thürach, Über das Vorkommen mikroskopischer Zirkone und Titanmineralien in den Gesteinen. Inaug.-Diss. Würzburg 1884. — Verh. d. phys.-med. Gesellschaft, Würzburg, 1884, 18, 203—284.

[2]) Über die Anwendung des Sichertroges bei petrographischen Arbeiten siehe: O. A. Derby, On the separation and study of the heavy accessories of rocks. Proceedings of the Rochester Academy of sciences. 1891. I. 198—206.

in einer spezifisch leichteren Flüssigkeit. Die Flüssigkeiten können deshalb außer zur Isolierung auch noch zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes benutzt werden (vgl. S. 622 u. f.).

Zur Benutzung sind zahlreiche Flüssigkeiten vorgeschlagen, die bei Zimmertemperatur flüssig sind. Sie werden als schwere Lösungen bezeichnet. Substanzen, die auf dem Wasserbade in den flüssigen Zustand übergeführt werden können, werden ebenfalls verwandt; es sind die schweren Schmelzen.

a. Schwere Lösungen.

Es kommen in Frage:

	Eingeführt von	Höchst erreichbares spezifisches Gewicht
1. Bromoform	Schröder van der Kolk	2,9
2. Acetylentetrabromid . . .	Muthmann	3,0
3. Kaliumquecksilberjodidlösung	Thoulet	3,2
4. Methylenjodid	R. Brauns	3,32
5. Lösung von borowolframsaurem Kadmium	D. Klein	3,36
6. Baryumquecksilberjodidlösung	Rohrbach	3,59

Die wichtigsten Lösungen und Schmelzen sollen in ihren Eigenschaften beschrieben werden.

1. Das von Schröder van der Kolk[1]) zuerst empfohlene Bromoform ($CHBr_3$) wird wegen seiner Billigkeit in größeren Mengen im konzentrierten Zustande (2,8—2,9) zunächst angewandt werden können, um die in großer Menge gewöhnlich vorhandenen leichteren Bestandteile wie Quarz, Feldspate und Karbonate abzutrennen. Es ist farblos und im allgemeinen ziemlich beständig, muß nur der direkten Einwirkung des Sonnenlichtes entzogen werden, da es sich sonst unter Bromausscheidung bräunt. Verdünnung mit Benzol.

Vorteile: Billigkeit. Große Beweglichkeit. Durchsichtigkeit. Indifferenz gegen Erze.

Nachteile: Niedriges spezifisches Gewicht.

Beyerinck[2]) erhöhte das spezifische Gewicht des Bromoforms bis auf 2,97 durch Eintragen von Jodoform. Eine Bräunung läßt sich nach ihm

[1]) Verh. K. Akad. van Wetenschappen te Amsterdam 1895 (Tweede Sectie), Deel IV. Nr. 4. 10. — Neues Jahrb. f. Min. 1895. I. 272—276. — Zeitschr. d. Deutschen geol. Ges. 1896. 48. 777. — Zeitschr. f. prakt. Geol., 1896. 192—194.

[2]) Chemikerzeitung 1897, 853.

dadurch verhindern, daß man die Flüssigkeit mit einer dünnen Wasserschicht überdeckt, der man einige Tröpfchen Ätzammoniak zugesetzt hat.

2. Acetylentetrabromid ($CHBr_2 - CHBr_2$), zuerst von V. Muthmann empfohlen[1]), stellt man am besten selbst her durch Einleiten von Acetylen in gekühltes Brom. Muthmann verteilt etwa 500 g Brom gleichmäßig in vier Kochkölbchen von je ¼ Liter Inhalt, mit Wasser überschichtet, in Eis gekühlt, um Verluste an Brom möglichst zu vermeiden, und leitet einen gleichmäßigen Acetylenstrom hindurch, bis die braune Farbe des Broms verschwunden ist. Es dauert 7—8 Stunden. Die Flüssigkeit wird zunächst mit Wasser, dann mit Natriumthiosulfatlösung gewaschen (um Spuren von Brom zu entfernen), mit Äther aufgenommen, mit geschmolzenem Chlorcalcium getrocknet. Der Äther wird abdestilliert. Die zurückbleibende Flüssigkeit wird im Vakuum abdestilliert (Wasserstrahlluftpumpe; Siedepunkt bei 3,6 cm Druck bei 137°). Verdünnung durch Äther oder Benzol. Fast farblos und sehr beständig; leicht flüssig.

Vorteile und Nachteile wie beim Bromoform. Die Haltbarkeit namentlich gegenüber Licht soll größer sein wie die von Bromoform, jedoch verdunstet es ziemlich rasch. Die Wiedergewinnung erfolgt durch Abdunstenlassen des Äthers, wobei der letzte Rest des Äthers nur langsam zu vertreiben ist[2]).

3. Kaliumquecksilberjodid, eine Lösung von Kaliumjodid und Quecksilberjodid in Wasser im Verhältnis 1 : 1,24, also ungefähr der Formel $HgJ_2 . 2 KJ$ entsprechend, ist durch Thoulet[3]) eingeführt und von V. Goldschmidt[4]) näher studiert worden. Sie wird nach des letzteren Angaben am besten so dargestellt, daß man eine Mischung von Quecksilberjodid (das rote Quecksilberjodid des Handels) und Jodkalium im Verhältnis von 5 : 4 in Wasser auflöst und diese Lösung auf dem Wasserbade bis zur Bildung einer Kristallhaut oder bis zum Schwimmen eines Kristalls von Turmalin oder Flußspat eindampft. Ein kleiner Überschuß von Jodkalium, der bei dem Eindampfen sich größtenteils wieder ausscheidet, ist nicht nur nicht schädlich, sondern sogar wünschenswert. Die Lösung wird filtriert und ist hierauf mit gelblichgrüner Farbe vollkommen durchsichtig. Diese Lösung, deren Dichte nach dem Erkalten durch Kontraktion bis auf die Höhe von 3,19—3,2 steigt, läßt sich durch Wasserzusatz ohne Zersetzung verdünnen, und die verdünnte Lösung durch Eindampfen auf dem Wasserbade wieder konzentrieren, solange das Ver-

1) Zeitschr. f. Kristallogr., 1899. **30**. 73—74.

2) Rösler, Neues Jahrb. f. Min. 1902. Beil. Bd. XV. S. 262.

3) Bull. d. l. soc. min. de France, 1879. 2. 17—24.

4) Neues Jahrb. f. Min., 1881. Beil.-Bd. I. 179—238. Vgl. auch van Werveke, Neues Jahrb., 1883. 2. 86.

hältnis der beiden Salze das oben angegebene, etwa 5 : 4, ist. Sobald das Jodquecksilber im Überschuß vorhanden ist, kristallisiert ein gelbes wasserhaltiges Doppelsalz in Nadeln aus, bei Überschuß von Jodkali aber dieses in Würfeln. Die gleichen Ausscheidungen beobachtet man, wenn die Lösung längere Zeit an trockener Luft steht. Eine Umfärbung aus Grünlich in Rotbraun, wie sie nach längerem Gebrauch der Lösung beobachtet wird, ist auf ausgeschiedenes Jod zurückzuführen. Diese Zersetzung läßt sich beseitigen, wenn man bei erneutem Eindampfen der Flüssigkeit ein kleines Quantum gediegenen Quecksilbers hinzusetzt. Es tritt eine Verbindung des freien Jods mit dem Quecksilber ein, das entstandene Jodür setzt sich an das Quecksilber als eine feine grünliche Haut an und bewirkt, daß es beim Umrühren in lauter winzige, sich nur schwer wieder vereinigende Kügelchen zerfällt. Bei weiterem Eindampfen setzt sich das Jodür unter Abscheidung von Quecksilber weiter in Jodid um, dieses verbindet sich wiederum mit dem Jodkalium zum Doppelsalze, und so dauert dieser Prozeß fort, bis sämtliches Jod wieder gebunden ist. Durch Aufnahme oder Abgabe von Wasser verändert sich die Lösung in feuchter resp. trockener Luft und ändert damit auch ihr spezifisches Gewicht und zwar um so schneller, je niedriger dies ist. Dagegen ändert sich die konzentrierte Lösung an der Luft nur unmerklich. Man tut also gut, die Operationen nur bei gleichmäßiger Temperatur oder in geschlossenen Gefäßen, immer aber mit tunlichster Beschleunigung auszuführen.

Die Verdünnung der Kaliumquecksilberjodidlösung beim Arbeiten erfolgt besser mit heißem Wasser oder mit schon stark verdünnter Lösung. Die Verdünnung muß unter Kontrolle durch die Westphalsche Wage oder durch Indikatoren erfolgen (vgl. S. 593 u. f.), da beim Verdünnen eine starke Kontraktion der Lösung eintritt.

Da beim völligen Eindampfen der Lösung auf dem Wasserbade leicht Kristallausscheidungen eintreten, so konzentriert man nach Laspeyres[1]) auf dem Wasserbade nur bis zum Schwimmen eines Glasstückes. Die weitere Konzentration bis zum Schwimmen eines schweren Turmalins erfolgt durch Verdunsten über Chlorcalcium im Exsikkator oder unter der Luftpumpe.

Vorteile: Annähernd farblos; leichte Herstellung. Beliebige Verdünnung durch Wasser und leichte Konzentration. Durchsichtigkeit.

Nachteile: Giftigkeit. Wirkt korrodierend auf die Haut; die selbst beim vorsichtigsten Arbeiten sich bildenden gelben Flecke verschwinden nur langsam. Hygroskopisch, namentlich in verdünnter Lösung (siehe oben); konzentriert ziemlich zähflüssig. Metalle, namentlich das durch das Pulvern von Gesteinen im Stahlmörser in das Mineralgemenge geratende Eisen, wirken zersetzend unter Quecksilberausscheidung. Die Mineralgemenge

1) Zeitschr. f. Kristallogr. 1896. 27. 45.

können nur schwer von der Lösung völlig befreit werden, was auch durch mehrmaliges Auskochen mit Kaliumjodidlösung und Wasser nicht immer sicher gelingt. Verschiedene zersetzte Mineralien, namentlich aber Feldspate, Zeolithe, auch tonige Gemenge und kolloidale Substanzen wirken in der Weise zersetzend, daß der Lösung Kalium entzogen wird, das von den zersetzten Mineralien leicht und sehr fest absorbiert wird, so daß chemische Untersuchungen an den abgetrennten, zersetzten Bestandteilen nur mit großer Vorsicht vorgenommen werden dürfen.

4. Methylenjodid CH_2J_2 ist von R. Brauns vorgeschlagen und genauer untersucht worden[1]). Es hat bei 16° das spezifische Gewicht 3,3243. Dieses ändert sich sehr bedeutend mit der Temperatur und zwar im Mittel um 0,0022 für 1°, so daß bei der Erstarrungstemperatur des Jodmethylens (5°) das Gewicht 3,3485, bei einer Temperatur von 25° dagegen nur 3,3045 beträgt. Es ist eine hellgelbe, stark lichtbrechende Flüssigkeit, deren Brechungsexponent bei 8° für Li 1,7346, für Na 1,7466 und für Tl 1,7584 beträgt, bei einer Abnahme für die angegebenen Wellenlängen um resp. 0,00067, 0,00071, und 0,00073 für 1° Temperaturzunahme. Es kann wegen dieser Eigenschaft bei optischen Untersuchungen sehr wertvolle Dienste leisten, namentlich da die Lichtbrechung durch das Eintragen von Jodoform oder Schwefel bis zu 1,83 gesteigert werden kann (vgl. S. 679).

Verdünnung durch Äther oder Benzol. Die Konzentration erfolgt am besten, indem man das Benzol in einer offenen Schale unter Beförderung der Verdunstung durch einen darüber hinstreichenden Luftstrom beseitigt. Hierbei geht leider aber auch immer ein Teil der recht kostbaren Flüssigkeit verloren. Die durch Lichteinwirkung erfolgende Bräunung (Jodausscheidung) beseitigt man durch Schütteln mit Kalilauge, durch Auswaschen mit reinem Wasser und Trocknen mittels hineingeworfener Chlorcalciumstücke. Die nachgedunkelte Flüssigkeit kann man auch gefrieren lassen (unter 5°); dabei bleibt noch ein kleiner Rest von ganz dunkelbrauner Flüssigkeit übrig, den man abgießt, worauf die erstarrte Masse nach dem Schmelzen wieder die ursprüngliche helle Färbung annimmt.

Vorteile: In reinem Zustande fast farblos; außerordentlich gute, leichte Beweglichkeit, so daß auch mechanische Trennungen von sehr feinen Pulvern vorgenommen werden können, bei denen die Thouletsche und Kleinsche Lösung versagt. Leichte Auswaschbarkeit der Pulver mit Benzol (wichtiger Vorzug gegenüber Thouletscher Lösung). Wird durch Metalle und Karbonate nicht zersetzt.

Nachteile: Das Jodmethylen läßt sich nicht mit Wasser verdünnen. Empfindlichkeit gegen längeres Stehen im Sonnenlichte und gegen Er-

[1]) R. Brauns, Neues Jahrb. f. Min., 1886. 2. 72—78. 1888. 1. 213—214. — Retgers, Zeitschr. f. phys. Chemie, 1889. 3. 292. 498.

wärmen (Jodausscheidung). Sehr hoher Preis im Vergleich zu den anderen Trennungsflüssigkeiten (vgl. S. 578).

Durch Eintragung von Jod sowohl in die Thouletsche als auch in die Rohrbachsche Lösung (S. 577) und in das Jodmethylen oder von Jodoform in Jodmethylen läßt sich zwar die Dichte aller drei Flüssigkeiten noch bis auf 3,6 steigern[1]), aber diese Erhöhung hat keine praktische Bedeutung mehr, weil die Flüssigkeiten dadurch ihre für den Scheidungsprozeß so wertvolle Dünnflüssigkeit vollständig verlieren (Jodmethylen noch am wenigsten) und außerdem undurchsichtig werden.

Bei der Trennung mittels einer Flüssigkeit, die man durch Sättigen von Jodmethylen mit Jodoform oder Jod erhält, verfährt man am besten auf folgende Weise: Man bringt die Körner in einen kleinen Porzellantiegel, welchen man auf eine flache Glasschale (z. B. ein großes Uhrglas) gestellt hat, gießt die Flüssigkeit bis dicht an den Rand des Tiegels und läßt einige Zeit ruhig stehen. Die leichteren Körner schwimmen auf der Oberfläche, die schwereren ruhen auf dem Grunde des Tiegels. Man gießt darauf sehr vorsichtig mehr Flüssigkeit zu, bis diese anfängt, über den Rand des Gefäßes zu strömen und mit den schwimmenden Körnern in die unten stehende Glasschale zu fließen. Man hört hiermit erst auf, wenn die Oberfläche der Flüssigkeit vollkommen rein von Körnern ist. Da diese stark glänzend ist wie Quecksilber, so kann man leicht feststellen, wann die Trennung beendigt ist. Auf diese Weise geht sie ebenso glatt und scharf vor sich, wie in einer durchsichtigen Flüssigkeit. Man trennt die Flüssigkeit von den Körnern in einem kleinen Scheidetrichter, dessen Hahn nur so weit geöffnet wird, daß die Flüssigkeit tropfenweise ausfließt, und reinigt alsdann die Körner mit Benzol, ebenso wie die in der Trennungsflüssigkeit untergesunkenen Körner.

5. Borowolframsaures Kadmium ist von D. Klein gefunden[2]) und nach ihm benannt. Es ist eine wäßrige Lösung des Salzes $2\,H_2O \,.\, 2\,CdO \,.\, B_2O_3 \,.\, 9\,WO_3 + 16\,aq$. Die Herstellung ist eine umständliche[3]), von deren Angabe hier abgesehen wird, weil die Lösung gegenüber dem sehr viel leichter beweglichen Jodmethylen keine besonderen Vorzüge besitzt. Die Verwendung der Kleinschen Lösung vom höchsten spezifischen Gewichte ist wegen ihrer öligen Beschaffenheit eine ziemlich beschränkte, da nur sehr grobe Pulver mit ihr sich noch behandeln lassen.

---

[1]) Retgers, Neues Jahrb., 1889. 2. 185—192.

[2]) Comptes rendus 1881. 93. 318—321; Bull. d. la soc. minéral. de France, 1881. 4. 149—155.

[3]) Vgl. auch P. Gisevius, Beiträge zur Methode der Bestimmung des spezifischen Gewichts von Mineralien und der mechanischen Trennung von Mineralgemengen. Inaug.-Dissert. Bonn 1883. — Landwirtsch. Versuchsstationen 1883, Bd. 28, 369—449.

Sie kann, wie die Thouletsche, in jedem Verhältnis mit Wasser verdünnt und durch Konzentrieren wieder auf ihr Höchstgewicht gebracht werden. Sie hat vor letzterer den Vorzug höheren Eigengewichts und völliger Unschädlichkeit, wohingegen sie ihr durch die Schwierigkeit der Darstellung sehr nachsteht. Metallisches Eisen, Zink, Blei und Karbonate zersetzen die Lösung. Sie müssen also vor dem Behandeln eines Pulvers mit Kleinscher Lösung aus ihm durch verdünnte Säure oder auf anderem Wege entfernt werden. Treten durch Reduktionsvorgänge in der Flüssigkeit Dunkelfärbungen auf, so lassen sie sich nach der Angabe von van Werveke leicht durch Zusatz einiger Tropfen einer Wasserstoffsuperoxydlösung beseitigen.

Vorteile: Großes spezifisches Gewicht; Unschädlichkeit (im Gegensatze zu der Thouletschen Lösung); leichte Konzentration.

Nachteile: Schwierige Darstellung; Zersetzung durch metallisches Eisen, Zink, Blei, Karbonate; geringe Beweglichkeit (ölig).

Das borowolframsaure Kadmium schmilzt bei 75° in seinem Kristallwasser; die Dichte der erhaltenen Flüssigkeit geht bis 3,6.

6. Baryumquecksilberjodidlösung, zuerst von Suschin dargestellt, dann von Rohrbach wieder aufgefunden und nach ihm benannt[1]). Man stellt sie auf folgende Weise dar: 100 Teile Baryumjodid und 130 Teile Quecksilberjodid werden möglichst rasch abgewogen und in einem trockenen Kölbchen gut durcheinander geschüttelt, hierauf in 20 Teilen Wasser aufgelöst und auf ein Ölbad gestellt, welches vorher auf etwa 200° C. erwärmt ist. Durch Quirlen mit einem kurz hakenförmig umgebogenen Glasstabe beschleunigt man die Auflösung, kocht noch eine kurze Zeit und dampft dann die Lösung der Salze in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade so lange ein, bis auf der Lösung ein Sulzbacher Epidotkristall schwimmt. Beim Erkalten der Lösung scheidet sich eine kleine Quantität eines gelblichen Doppelsalzes aus, während der Rest der Flüssigkeit durch Konzentration so an Gewicht zunimmt, daß Topas auf ihr schwimmt. Da das Filtrierpapier von der Lösung sehr schnell angegriffen und zerstört wird, so läßt sich diese nicht filtrieren, sondern muß durch vorsichtiges Abgießen von den ausgeschiedenen Kristallen befreit werden, womit man einige Tage wartet.

Vorteile: Hohes spezifisches Gewicht; einfache Herstellungsweise. Wird durch Karbonate nicht zersetzt.

Nachteile: Nicht durch Wasser zu verdünnen (Ausscheidung von rotem Quecksilberjodid), weshalb man die Verdünnung mit einer weniger konzentrierten Lösung desselben Salzes vornimmt, die man auf zwei Weisen erhalten kann. Entweder gibt man zu der fast bis zum Sieden

[1]) Rohrbach, Neues Jahrb., 1883. 2. 186—188; Wiedemanns Annalen, 1883. **20**. 169—174.

erhitzten konzentrierten Lösung unter beständigem Umrühren tropfenweise Wasser zu oder man übergießt eine kalte konzentrierte Lösung mit einer Schicht Wasser und läßt sie vierundzwanzig Stunden stehen, während welcher Zeit durch Diffusion ohne Salzausscheidung eine vollständige Vermischung beider Flüssigkeiten vor sich geht. Das Gesteinspulver, welches man in der Lösung scheiden will, muß vollkommen frei von anhängendem Wasser sein, und das Auswaschen darf nicht mit reinem Wasser, sondern nur mit jodkaliumhaltigem ausgeführt werden, durch welches etwa ausgeschiedenes Jod wieder aufgenommen wird. Dadurch wird aber die absorbierende Wirkung zersetzter Feldspate, von Tonen, kolloidalen Substanzen, Zeolithen etc. wieder wie bei der Thouletschen Lösung störend und nachteilig einwirken. Die Rohrbachsche Lösung kann deshalb nur in wenigen besonderen Fällen Anwendung finden.

Zusammenfassung: Aus den bei den einzelnen schweren Lösungen angegebenen Gründen werden zunächst am besten Bromoform oder Acetylentetrabromid, dann Jodmethylen angewandt. Es muß nochmals besonders darauf hingewiesen werden, daß man zweckmäßig schon der Kostenersparnis wegen zum Arbeiten bei den niedrigeren spezifischen Gewichten die erstgenannten Flüssigkeiten nimmt und nur zu den Trennungen der schwereren Bestandteile zum Jodmethylen greift. Nur dann, wenn die getrennten Mineralgemenge zu keinen weiteren analytischen Arbeiten verwandt werden sollen, kann auch die Thouletsche Lösung verwandt werden, die dann auch eine Bevorzugung verdient.

Um noch eine Übersicht über Wert und die dadurch bedingte Verwendbarkeit der verschiedenen schweren Lösungen zu geben, seien die Preise mitgeteilt, welche nach dem Kataloge der chemischen Fabrik von E. Merck, Darmstadt, vom Oktober 1907, bezahlt werden müssen:

	Bei spezifischem Gewicht von	Preis für 100 g M.	Preis für 1000 g M.
Bromoform	2,904	1,40	12,—
Acetylentetrabromid	2,97—3,0	3,70	34
Kaliumquecksilberjodidlösung	3,17	4,20	38
Methylenjodid	3,32	10,50	
Lösung von borowolframsaurem Kadmium	3,28	6,60	
Baryumquecksilberjodidlösung	3,5	4,20	38

b. Schwere Schmelzen.

Die Ausbildung der Methoden zur Anwendung schwerer Schmelzen ist namentlich Retgers und Penfield zu verdanken. Zur Trennung schwerer Mineralien kommen die Schmelzen folgender Salze in Frage:

	Schmelzpunkt	Spez. Gew.	Preis f. 100 g[1]) M.
Zinnjodid-Bromarsen . . .	—	3,73	4,80
Silbernitrat	198°	4,1	—
Merkuronitrat	70°	4,3	—
Thalliumnitrat	205°	5,3	—
Thallium-Silbernitrat			
im Verhältnis 1 : 1 . .	75°	4,5	20,—
„ „ 3 : 4 . .	—	4,68	—
„ „ 1 : 4 . .	—	4,85	—
Thallium-Merkurinitrat			
$(NO_3)_4$ Hg Tl	110°	5,0	—
Thallium-Merkuronitrat			
$(NO_3)_2$ Hg Tl	76°	5,3	22,—
Jodsilber-Silbernitrat . . .	—	5,0	—
Chlorblei und Chlorzink . .	—	bis 5,0	—

(Schmelzpunkt: Chlorzink 2,4, Chlorblei 5,0.)

Die Thallium-Silbernitratschmelzen sind am meisten zu empfehlen.

Die Zahl der außerdem noch vorgeschlagenen Substanzen, die im geschmolzenen Zustande bei höherer Temperatur zur Mineraltrennung verwandt werden können, ist sehr groß. Oben Seite 577 wurde schon das borowolframsaure Kadmium erwähnt, dessen Schmelze aber so schwer beweglich ist, daß sie zum Trennen feinerer Pulver nicht verwendet werden kann.

1. Silbernitrat (NO_3Ag), von Retgers[2]) vorgeschlagen, ist am brauchbarsten. Der Schmelzpunkt liegt bei 198°. Man erhitzt deshalb in kleinen Bechergläsern über der offenen Flamme, wodurch allerdings die Anwendung dieser Schmelze sehr beeinträchtigt wird. Verdünnung erfolgt durch Zusatz von Kalisalpeter oder Natronsalpeter (NO_3K, NO_3Na).

2. Schmelzen von Thalliumsilbernitrat, die ebenfalls von Retgers[3]) vorgeschlagen wurden, leisten sehr viel bessere Dienste, da sie erheblich niedriger schmelzen als die einzelnen Salze. Man kann sie auf dem Wasserbade schmelzen und benutzt dazu am besten die von Penfield vorgeschlagene Einrichtung (vgl. S. 590). Man stellt sich das Doppelsalz N_2O_6AgTl am besten selbst her, indem man äquivalente Mengen von Thallium und Silber in Salpetersäure löst. Die bei 76° flüssig werdende

1) Nach Katalog Merck, Oktober 1907.

2) Neues Jahrb., 1889. 2. 185—192.

3) Neues Jahrb., 1893. I. 90—94. — Zeitschr. f. phys. Chemie 1890. 5. 451. Anm. — Penfield, Zeitschr. f. Kristallogr., 1896. 26. 136. — Americ. Journal of science, 1894. 48. 143—144. 1895. 50. 446—448. — Trenkler, Tschermaks min. u. petr. Mitt., 1901. Bd. XX. S. 162—165.

Schmelze läßt sich nach Belieben durch Wasser ohne Trübung verdünnen, wobei auch noch der Schmelzpunkt auf 60—50° erniedrigt wird. Da ein Tropfen Wasser schon eine große Erniedrigung des spezifischen Gewichtes hervorruft, dampft man die zu stark verdünnte Mischung auf dem Wasserbade unter fortgesetztem Umrühren ein, bis sie die gewünschte Dichte besitzt, was durch einen zu benutzenden Indikator (vgl. S. 594 u. f.) angezeigt wird. Diese Schmelze ist vollkommen farblos, durchsichtig und dünnflüssig. Sie zersetzt sich erst bei Glühhitze. Das spezifische Gewicht wechselt nach dem gegenseitigen Verhältnis der beiden Salze (siehe oben).

Die bei längerer Lichteinwirkung, aber immer nur äußerlich, sich bildende dunkle Silberhaut kann man leicht durch Zusatz von ganz geringen Mengen Salpetersäure entfernen. Da diese Haut nur ganz oberflächlich ist, beeinträchtigt sie die Trennung nur unwesentlich. Nachteilig ist, daß Sulfide unter Abscheidung von metallischem Silber die Schmelze zersetzen. Thallium- und Silbernitrat wirken auf verschiedene Silikate, besonders Zeolithe ein[1]).

3. Die Schmelze von Thalliummerkuronitrat (N_2O_6HgTl) wurde von Retgers eingeführt[2]), da Schwefelmetalle (Pyrit, Kupferkies) nicht mit dem Thalliumsilbernitrat getrennt werden können. Verdünnung ebenfalls in jedem Verhältnisse durch Wasser. Dünnflüssig, klar. Liefert nach Retgers die beste schwere Schmelze.

4. Chlorblei und Chlorzink, mit einem spezifischen Gewicht im geschmolzenen Zustande von 5,0 bezw. 2.4, gestatten die Herstellung jedes zwischenliegenden spezifischen Gewichtes durch Mischung beider Salze. Die Schmelztemperatur liegt bei 400°, so daß man auf dem Sandbade arbeiten muß. Die Schmelze ist sehr schwer beweglich und deshalb nur für gröbere Mineralkörner anzuwenden.

c. Trennungsvorrichtungen.

Eine große Zahl von Trennungsvorrichtungen ist angegeben worden zur Vornahme der Mineraltrennungen mit den besprochenen Lösungen. (Angaben über den Bezug der Trennungsvorrichtungen siehe S. 593.)

1. Das einfachste Gefäß zur Scheidung nach dem spezifischen Gewichte ist das gewöhnliche Becherglas. Die Flüssigkeit läßt sich mit einem Glasstabe leicht umrühren; die Vermischung des Pulvers mit der Flüssigkeit wird eine sehr innige; die einzige, aber auch sehr große Schwierigkeit besteht darin, die erhaltenen Teilprodukte zu trennen; man versucht es, den auf der Flüssigkeit schwimmenden Teil des Pulvers durch einfaches

[1]) Vgl. G. Steiger, Bull. of the United States Geological Survey, Washington 1905. Nr. 262. pg. 75—90.

[2]) Neues Jahrb., 1896. 1. 212—221. 1896. 2. 183—195.

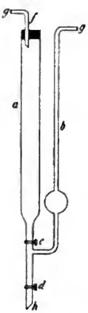
Abgießen von dem zu Boden gesunkenen schwereren Teile zu trennen, aber es ist dabei ganz unmöglich zu vermeiden, daß an den Wandungen des Gefäßes leichtere Körnchen hängen bleiben, die sich dann mit den schwereren vereinigen und diese verunreinigen. Alle ferneren Konstruktionen sind aus dem Bestreben hervorgegangen, diesen Übelstand zu beseitigen, und versuchen es auf verschiedenem Wege, die zu Boden gesunkenen Teile zu isolieren.

Fig. 261.



2. Sehr einfach und für viele Zwecke, zumal für gröbere Sonderung größerer Mengen sehr geeignet ist die von van Werveke[1]) vorgeschlagene Benutzung eines gewöhnlichen Scheidetrichters (Fig. 261), dessen Hahn nicht unmittelbar unter dem Trichteranfange, sondern einige Zentimeter tiefer angebracht ist. Die Öffnung des Hahnes muß die gleiche Weite wie das Trichterrohr haben. Ein gewöhnlicher Trichter, dessen Röhre durchgeschnitten und an dem der Hahn durch ein Stück Gummischlauch mit Quetschhahn ersetzt ist, tut zuweilen ebenso gute Dienste. Das Pulver wird in den mit der Trennungsflüssigkeit halb gefüllten Trichter eingetragen, mit einem Glasstabe oder durch Umschütteln nach dem Auflegen einer aufgeschliffenen Glasplatte gut gemischt, und der zu Boden gesunkene schwerere Teil durch vorsichtiges Öffnen des Hahnes in ein untergehaltenes Gefäß befördert. Der Hauptübelstand ist, daß man entweder große Flüssigkeitsmengen benutzen oder befürchten muß, den Hahn nicht zur rechten Zeit schließen zu können.

Fig. 262.



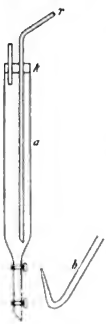
3. Thouletscher Apparat[2]) (Fig. 262): In die Röhre *a* werden, während die Hähne *c* und *d* verschlossen sind, etwa 60 ccm der Lösung eingefüllt, und von oben 1—2 g des zu trennenden Pulvers zugegeben, nachdem es kurz zuvor gründlich mit Wasser ausgekocht und dadurch von der die einzelnen Körnchen umgebenden Hülle verdichteten Gases befreit war. Hierauf wird durch den durchbohrten Stopfen die Eingußöffnung an *a* angeschlossen. Nun wird der Hahn *c* vorsichtig geöffnet und gleichzeitig durch die Röhre *b* ein kontinuierlicher Luftstrom durch die Flüssigkeit in *a* hindurchgeführt, der zu einer innigen Mengung von Pulver und Scheideflüssigkeit führt und das sehr störende, auf Adhäsion beruhende Zusammenballen der Pulverkörnchen verhindert. Bei einiger Vorsicht und

[1]) Neues Jahrb. f. Min. etc. 1883. II. S. 86—87.

[2]) Bull. de la soc. min. de France. II. 1879. S. 17—24.

Aufmerksamkeit gelingt es, den Luftstrom durch *c* eintreten zu lassen, ohne daß die Scheideflüssigkeit in die Röhre *b* eindringt. Nach Schluß des Hahnes *c* erfolgt die Sonderung des Pulvers, die Körner, die schwerer als die Flüssigkeit sind, sinken zu Boden und sammeln sich im unteren verengten Teile der Röhre *a* an. Hierauf öffnet man den Hahn *c* wieder und läßt das abgesetzte schwerere Pulver in den Raum zwischen den Hähnen *c* und *d* fallen, wobei ein Teil der Lösung in die Röhre *b*, welche kugelförmig erweitert ist, eintritt. Nachdem alles Pulver den Hahn *c* passiert hat, wird er verschlossen, das untere Ende *h* in ein wassergefülltes Gefäß getaucht, der Hahn *d* geöffnet und das Pulver entfernt. Zur Reinigung des Raumes zwischen *c* und *d* und der Röhre *b* saugt man verschiedene Male am oberen Ende *g* der Röhre Wasser an, und läßt es wieder zurückfließen. Die verdünnte Lösung über dem Pulver wird abgegossen, dieses mehrmals ausgewaschen, wobei auch das Waschwasser aufbewahrt wird, und schließlich getrocknet. Die verdünnten Lösungen werden eingedampft und wieder zur konzentrierten Lösung zurückgegeben. Nun wird durch vorsichtiges Zugeben von Wasser die Scheideflüssigkeit in *a* bis zu dem Grade verdünnt, daß das nächstschwere Mineral ausfällt und genau ebenso verfahren, wie angegeben; dieser Prozeß wird bis zur völligen Zerlegung des Pulvers, also bis zum Niedersinken auch des leichtesten Gemengteiles, fortgesetzt.

Fig. 263.



N a c h t e i l e: Der Apparat ist sehr zerbrechlich, die richtige Handhabung der Hähne *c* und *d* erfordert viel Aufmerksamkeit und der enge Raum über dem Hahn *c* verstopft sich leicht. Diese Fehler verringert eine von K. Ö b b e k e[1]) konstruierte Vereinfachung des T h o u l e t-schen Apparates, welche in Figur 263 abgebildet ist. Das Pulver wird mit der Scheideflüssigkeit gleichfalls durch einen Luftstrom gemengt, aber dieser wird durch eine dünne Glasröhre *r* eingeblasen, welche bis fast auf den Boden der Röhre *a* reicht und durch die eine Öffnung des doppelt durchbohrten Verschlußkorkens *k* in sie hineingelangt. Die Ausspülung des Raumes zwischen den beiden Hähnen nach erfolgtem Ablassen des niedergesunkenen Pulvers erfolgt durch einen feinen Wasserstrahl, der mit Hilfe einer in der Form von *b* gekrümmten, fein ausgezogenen Glasröhre erzeugt wird.

4. Dauerhafter und bequemer ist der H a r a d a s c h e A p p a r a t[2]), ein verbesserter Scheidetrichter (Fig. 264): Er besteht aus einem lang birnen-

---

[1]) Ö b b e k e, K., Neues Jahrb. f. Min. 1881. Beil.-Bd. I. S. 456—458.
[2]) T. H a r a d a, Neues Jahrb. f. Min., 1881. Beil.-Bd. I. 457.

förmigen Glasgefäße, welches oben verschließbar und in dem unteren gestreckten Teile mit einem Hahne versehen ist, dessen Durchbohrung genau die Weite der Glasröhre besitzt. Durch die obere Öffnung werden Pulver und Scheideflüssigkeit in die Birne gebracht und durch kräftiges Schütteln gut miteinander gemengt. Nachdem das schwerere Pulver zu Boden gesunken ist, und über ihm eine klare Flüssigkeitssäule sich gebildet hat, wird das untere Ende des Apparates in ein Glas gesetzt und der Hahn vorsichtig geöffnet. Es fließt zunächst ein kleiner Teil der Scheideflüssigkeit aus und füllt das Gläschen so weit, daß die Spitze des Apparates in der Flüssigkeit steht und der verminderte Luftdruck in der Birne ein weiteres Nachfließen verhindert. Nunmehr erfolgt ganz ruhig und gleichmäßig ein Ausfließen des niedergefallenen Mineralpulvers, nach dessen Heraustreten der Hahn geschlossen wird. Eine dünne Wasserschicht wird auf das Pulver in dem Glase gebracht und nun der Apparat langsam gehoben, bis seine Spitze im Wasser steht. Dieses steigt schnell bis zum Hahn empor und besorgt die Ausspülung des unter ihm befindlichen Raumes. Zur weiteren Verdünnung der Flüssigkeit gibt man entweder von oben Wasser zu oder man dreht den Apparat um und läßt durch den Hahn die entstandene verdünnte Lösung in die Birne zurückfließen. Die folgenden Abscheidungen immer leichterer Gemengteile werden in genau derselben Weise ausgeführt.

Fig. 264.



Eine Verbesserung des Haradaschen Apparates wurde von A. Johnsen und O. Mügge vorgeschlagen[1]). Sie geben der birnenförmigen Verjüngung und dem Hahne eine derartige lichte Weite, daß die zur Benutzung gelangenden Indikatoren (Würfel von 4 mm Kantenlänge, vgl. S. 595) durch den Hahn hindurchgelangen können. Dadurch ist der Apparat aber immer noch nicht zu einem Universalapparate gemacht worden.

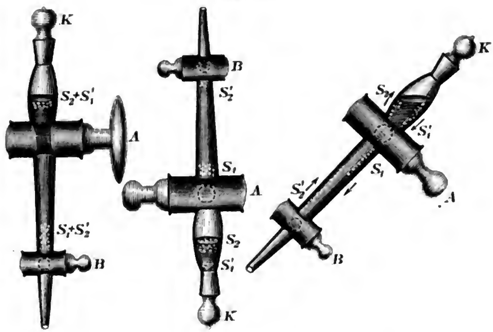
5. Bröggerscher Apparat. Der mit dem Haradaschen Apparate verbundene Übelstand, daß das niederfallende Pulver mechanisch etwas leichtere Bestandteile mit fortreißt, und umgekehrt der schwimmende Teil schwere Stücke festhält und nicht untersinken läßt, veranlaßte Brögger[2]) zur Konstruktion einer Modifikation (Fig. 265). Sie unterscheidet sich von dem Haradaschen Apparate nur dadurch, daß sie in der Mitte einen großen Hahn besitzt, dessen Durchbohrung den gleichen

1) Zentralbl. f. Min., 1905. S. 152—153.

2) C. W. Brögger, Om en ny konstruktion af et isolations-apparat for petrografiske undersögelser. Geolog. Fören. i. Stockholm förhandl. 1884. VII. S. 417—427. — Neues Jahrb. f. Min. etc., 1885. I. Ref. S. 395.

Durchmesser wie die Birne an der betreffenden Stelle hat. Wenn der Hahn A geöffnet ist, ist also der Apparat eigentlich vollkommen dem H a r a d a schen gleich; wenn er geschlossen ist, unterscheidet er sich von ihm dadurch, daß er aus zwei getrennten Räumen besteht. Die beiden getrennten Räume ermöglichen ein wiederholtes Abtrennen (Repetitionstrennung), indem man nur einen Raum zu entleeren braucht. Dasselbe Prinzip ist auch bei den folgenden Trennungsvorrichtungen verwandt worden. Figur a zeigt den Apparat nach Einfüllung der erforderlichen Trennungsflüssigkeit und des Pulvers, der Vermischung beider und dem ersten Abtrennen der schweren Bestandteile. Der Hahn A ist offen, der Hahn B verschlossen, den Stand der Flüssigkeit zeigt die Abbildung. Über dem unteren Hahne B sieht man

Fig. 265.



a b c

die erste Ausfällung S_1, verunreinigt durch größere Mengen mit niedergerissener leichter Substanzen $S_2{}'$, deren größte Masse S_2 im oberen Teile der Flüssigkeit schwimmt, aber ihrerseits mechanisch einen Teil der schwereren Substanz $S_1{}'$ mit einschließt. Nun wird der Hahn A geschlossen, der Apparat durch Umkehrung in die Stellung b gebracht, umgeschüttelt und je nach dem zu trennenden Material kürzere oder längere Zeit stehen gelassen. Nach dieser Zeit haben die schwerere Substanz S_1, die leichtere S_2 und die Trennungsflüssigkeit sich so in dem Apparate geordnet, wie Figur b angibt. Der größere Teil der schweren Mineralien S_1 steht über dem Hahne A, ein kleinerer Teil derselben $S_1{}'$ im unteren Teile des umgekehrten Apparates; dagegen schwimmt der größte Teil der leichteren Mineralien S_2 unter dem Hahne A und nur ein kleiner Teil $S_2{}'$ unter dem Hahne B.

Nun wird der Apparat durch vorsichtiges Umkippen in die Stellung der

Figur c gebracht. Während dieser Bewegung verändern die vier getrennten Substanzmengen ihren Ort in der durch Pfeile bezeichneten Art und Weise. Wird nun der Hahn A im passenden Zeitpunkte geöffnet, so wird die Substanz S_1' aus dem oberen Raume in den unteren niedersinken und sich dort mit S_1 vereinigen, und ebenso wird S_2' in den oberen Raum aufsteigen und sich dort mit S_2 vereinigen. Nachdem der Hahn A wieder geschlossen ist, wird von neuem geschüttelt und mit dem beschriebenen Verfahren so lange fortgefahren, bis in dem einen Teile des Apparates keine Substanz mehr zu Boden fällt und in dem anderen keine mehr aufsteigt.

6. Apparate von Laspeyres[1]) (Fig. 266), Hauenschild[2]) (Fig. 267) und E. Kaiser[3]) (Fig. 268—269). (Die Figuren 266, 268 und 269 sind in $^1/_2$ der am zweckmäßigsten erscheinenden anzuwendenden Größe

Fig. 266.

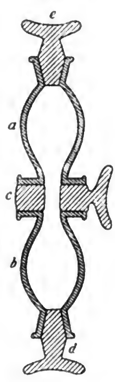
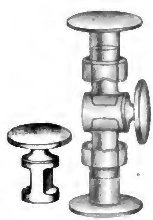


Fig. 267.



gehalten.) Die bisher beschriebenen Apparate haben namentlich den schwerwiegenden Übelstand, daß sie in so großen Ausführungen in den Handel gebracht werden, daß die zur Füllung notwendige Menge der zumeist teuren Trennungsflüssigkeiten besonders groß ist. Der Bröggersche Apparat ließe sich allerdings leicht in kleineren Dimensionen

1) Zeitschr. f. Kristallogr., 1896. 27. S. 44—45. — Sitzungsber. d. niederrhein. Gesellsch. f. Natur- u. Heilkunde, Bonn 1896. S. 119—121.

2) Zeitschr. f. Baumaterialienkunde, März 1898. (Angabe nach Rosenbusch-Wülfing, Mikroskop. Physiogr. 4. Aufl. I. 1, S. 427.)

3) Zentralbl. f. Min., 1906. S. 475—477.

anfertigen. Wenn aber bei dem B r ö g g e r schen Apparate in umgekehrter Stellung (Fig. 265 b) eine völlige Trennung erfolgt ist, kann die Abtrennung in dieser Stellung nicht erfolgen. Das führte zur Konstruktion von Apparaten, die nur geringe Flüssigkeitsmengen beanspruchen und anderseits symmetrisch gebaut sind. Infolgedessen können die Apparate (Fig. 266—269) auch mit einer Hand bedient werden, was ein gutes Durchschütteln ermöglicht. Dies ist bei dem B r ö g g e r schen Apparate nur dann möglich, wenn die Hähne gegen eine willkürliche Öffnung geschützt werden. Das Durchschütteln ist notwendig, um das Zusammenballen ver-

Fig. 268.

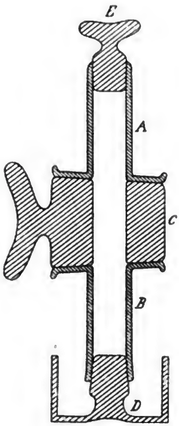
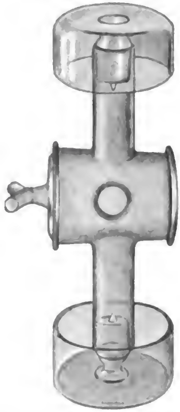


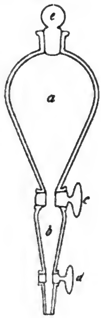
Fig. 269.



schiedener Körner, sowie das Festhalten leichterer Körner bei den schweren Bestandteilen und umgekehrt zu verhindern. Auch das Festhalten von Luftblasen und damit eine scheinbare Erniedrigung des spezifischen Gewichtes kann bis auf ein Minimum herabgedrückt werden, wenn man die Apparate so füllt, daß keine Luft mehr mit in das obere Gefäß (*a* bezw. *A*) hineingelangt, während man die größeren Apparate schon wegen der Kostspieligkeit der Flüssigkeiten nicht ganz füllen wird, namentlich wenn man verdünnte Lösungen anwendet. Die drei Apparate (Fig. 266—269) gestatten sämtlich ein wiederholtes Abtrennen. Da nämlich die abzutrennenden schwereren Bestandteile nur in geringer Menge in den Gesteinen oder Gesteinspulvern enthalten sind, so wird man die in dem Gefäße *A* (*a*) abgetrennten leichteren Bestandteile nach Schließen des Hahnes *C* (*c*) entfernen, neue Sub-

stanz zugeben, die abfiltrierte Flüssigkeit zugießen, den Hahn C (c) wieder öffnen und von neuem trennen. So gelingt es mit geringem Flüssigkeitsaufwand, aus großen Mengen von Mineralgemengen die vorhandenen schweren Bestandteile abzutrennen. Die Unterschiede der Apparate ergeben sich aus den Figuren.

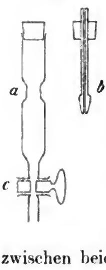
Fig. 270.



Trenkler[1]) hat dem Brögger-Laspeyresschen Apparate noch eine etwas abweichende Form (Fig. 270, in 1/2 der natürlichen Größe) gegeben, um aus größeren Mengen Gesteinspulver eine kleine Menge schwerer Bestandteile abzutrennen. Der obere, große birnenförmige Teil des Gefäßes verlangt aber so große Flüssigkeitsmengen, daß der Laspeyressche Apparat doch vorzuziehen ist, wenn man immer wieder kleine Mengen von Substanz in die obere Birne einschüttet und immer wieder dieselbe Flüssigkeit benutzt (siehe oben).

Eine ähnliche Anordnung zeigt die Trennungsvorrichtung von Hartley[2]) (Fig. 271). Eine ca. 22 cm lange Glasröhre besitzt in der Mitte eine Einschnürung, am unteren Ende einen Glashahn mit weiter Durchbohrung, oben einen Stopfen. Das Pulver und die Flüssigkeit werden eingefüllt. Nach erfolgter Scheidung wird ein anderer Stopfen mit der Kapillaren b in der Röhre eingesetzt; dadurch wird die Röhre an der Einschnürung getrennt. Es ist dann möglich, jeden Teil der Röhre für sich zu leeren und zu untersuchen.

Fig. 271.



Der Laspeyressche Apparat hat den Nachteil, daß sich wegen der birnenförmgen Verengerung die Abtrennung von sehr feinen Sanden (z. B. Löß, Schluffsand), von tonigen Bestandteilen und plattigen Mineralkörnern (Glimmertafeln) nur sehr langsam vollzieht. Die feinen Bestandteile sammeln sich an der Verjüngung der beiden Birnen an und können auch oft durch wiederholtes Klopfen nicht entfernt werden, so daß eine völlige Trennung nicht zu stande kommt. Dieser Übelstand wird vermieden durch die senkrechte Wandung der Gefäße bei den Apparaten von Hauenschild und Kaiser, von denen der erstere den Nachteil hat, daß der Hahn auch bei geöffneter Stellung durch das Mittelstück zwischen beiden Fräsungen eine rasche und glatte Trennung verhindert. Dies wird bei dem Apparate von Kaiser dadurch vermieden, daß der Hahn C eine Durchbohrung besitzt, die genau der Weite der Gefäße A und B entspricht, so daß also die Gefäße A und B bei geöffneter Stellung

---

[1]) Tschermaks min. u. petr. Mitt., 1901. Bd. 20. S. 160.

[2]) Mineralog. Magazine, 1905. 14. 69—71. — Neues Jahrb., 1906. I. Ref. 160.

des Hahnes C mit der Durchbohrung zusammen eine zylindrische Röhre darstellen.

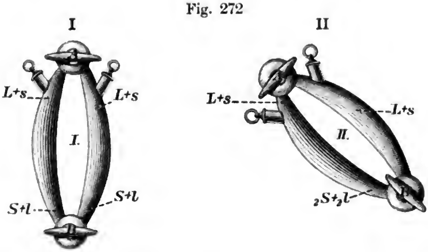
Die weite Durchbohrung bei den Apparaten von Hauenschild und Kaiser bedingt, daß der Hahn C nur schwer dicht hält, weshalb bei beiden Trennungsvorrichtungen die Hähne D und E mit besonderen Auffangrinnen für austretende Flüssigkeitstropfen versehen sind. Die Unterschiede ergeben sich aus den Figuren. Übrigens leiden auch alle anderen Apparate unter dem Übelstande, daß die Hähne bei längerem Gebrauche, oder bei Benutzung leicht beweglicher Flüssigkeiten, wie z. B. des Methylenjodids, nicht dicht halten, so daß Flüssigkeitsaustritt und -verlust bei ihnen im Gegensatz zu den letztbeschriebenen Apparaten nicht vermieden wird. Die breite Form der Hähne D und E bei diesen ermöglicht auch, den Apparat fest und senkrecht auf dem Tische aufzustellen, was bei der Trennung feinkörniger Pulver, deren Absetzen längere Zeit dauert, von großem Vorteile ist. Man bedarf dann auch im Gegensatze zu den anderen Trennungsapparaten keines besonderen Stativs und man braucht auch nicht zu befürchten, daß durch heraustretende Flüssigkeitstropfen die Unterlage verunreinigt wird. Die große Weite der Gefäße und der Hähne beim Apparate von Kaiser ermöglicht es, die Indikatoren bis zum Schlusse des Arbeitens im Apparate zu belassen, noch in vollkommenerer Weise, wie es die Verbesserung des Haradaschen Trennungsapparates durch Johnsen und Mügge bezweckt (vgl. S. 583). Man kann den Apparat (Fig. 268 oder 269) auch benutzen, um nacheinander verschiedene Trennungen vorzunehmen. Die weite Durchbohrung gestattet auch im Apparate die Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Lösung mit Hilfe der Mohrschen bezw. Westphalschen Wage (S. 596—597) vorzunehmen.

7. Wülfingscher Apparat. Die Übelstände des Bröggerschen Apparates sucht Wülfing[1]) auf andere Weise zu beheben (Fig. 272). Der Apparat wird nach seiner Beschreibung folgendermaßen behandelt: Ein elliptisch geformter hohler Glasring ist an den Enden des größeren Durchmessers mit Hähnen A und B versehen, die eine Verbindung bezw. Trennung der beiden Hälften herzustellen erlauben. Die Durchbohrungen oder besser die seitlichen Ausschnitte der Hähne sollen, wie bei dem Haradaschen Trennungsapparate, genau so weit sein, wie die anstoßenden Rohrstücke. Zum Ein- und Ausgießen sind zwei Öffnungen mit Glasstopfen angebracht. Man füllt nun den Apparat etwa bis zu drei Vierteln mit der Trennungsflüssigkeit, wozu etwa 30 ccm erforderlich sind, öffnet die Hähne so, daß die Flüssigkeit in beiden Schenkeln gleich hoch steht und schließt sie wieder; alsdann wirft man das zu trennende Pulver in die Flüssigkeit auf

[1]) Neues Jahrb. f. Min., 1891. Beil.-Bd. 7. S. 164. — Rosenbusch-Wülfing, Mikroskopische Physiographie, 4. Aufl. Bd. I. 1. S. 427—428.

beiden Seiten und schüttelt. Es findet die erste Sonderung statt. Das leichtere Pulver L, mit mehr oder weniger schwerem s verunreinigt, wandert nach rechts oben und links oben, das schwerere Pulver S, mit mehr oder weniger leichtem l verunreinigt, wandert nach rechts unten und links unten. Man bringt hierauf den Apparat in die Lage II, öffnet den Hahn B und läßt das Pulver $S + l$ des rechten Schenkels mit dem Pulver $S + l$ des linken Schenkels sich vereinigen. Dies kann man dadurch beschleunigen, daß man (immer in der schiefen Stellung II) den Hahn A öffnet und mit Hilfe der Druckdifferenz die schwere Portion von rechts nach links im Strom hinüberführt, und die Flüssigkeit links dabei bis zum Hahn A steigen läßt. Alsdann schließt man den Hahn B, läßt A offen und bringt den Apparat wieder in

Fig. 272



die Stellung I. Jetzt steht also die Flüssigkeit links höher wie rechts, und dieser Überschuß läßt sich mit dem oben darin schwebenden Pulver $L + s$ nach rechts hinüberschütten. Hat sich sehr viel leichtes Pulver abgeschieden, z. B. eine Menge von 1—2 g, so läßt sich das Überschütten beim ersten Male nicht vollständig ausführen; wenn man dann aber noch einmal durch den Hahn B die Flüssigkeit nach links bis zum Hahn A schiebt, so gelingt es nunmehr durch Schütteln des Apparates, auch den Rest $L + s$ nach rechts überzuschütten. Es bleibt alsdann nur übrig, noch den Hahn A zu schließen, um die Trennung ein zweites, drittes, n^{tes} Mal vornehmen zu können.

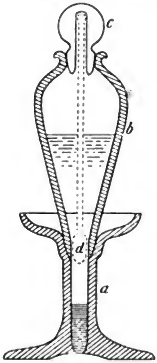
8. Smeethscher Apparat[1]). Eine andere Art von Repetitionstrennung wird ohne Anwendung von Hähnen durch diesen Apparat (Fig. 273) ermöglicht. Der Fuß a dient hier gleichzeitig als Standgefäß

---

[1]) W. F. Smeeth, Proceedings of the royal Dublin society, 1888. VI. 58—60. — J. W. Sollas, Quarterly Journal of Geolog. Society, 1902. 58. 166. — J. G. Diller, Bulletin of the United States geological Survey, 1898. Nr. 150. S. 20. — Diller, Science, 1896. 3. Nr. 76.

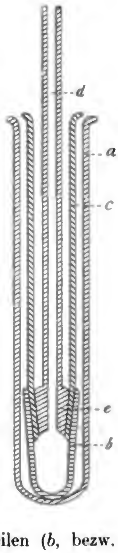
und Gefäß für die schwereren Bestandteile. Das obere birnenförmige Gefäß *b* kann durch einen Stopfen *d* geschlossen werden, nachdem die Trennung vollzogen ist. Auch hier ist eine wiederholte (Repetitions-) Trennung möglich, wenn man das obere Gefäß (*b* + *d* + *c*) abnimmt, entleert, neues Material und die vom vorigen leichten Materiale abgetrennte Flüssigkeit zugibt und so durch mehrfache Wiederholung im Gefäße *a* die schweren Bestandteile mehr und mehr anreichert.

Fig. 273.



9. Der Penfieldsche Apparat (Fig. 274) dient zur Trennung bei Anwendung von schweren Schmelzen[1]), die auf dem Wasserbade in flüssigen Zustand übergeführt werden können. Ein großes, starkwandiges Reagenzglas *a* kann in ein Wasserbad eingehängt werden. Als Wasserbad benutzt man am besten ein Becherglas, das mit einem Deckel versehen ist. Eine passende Öffnung in dem Deckel muß das Einhängen des Glases *a* ermöglichen. Man kann dann die notwendige Kontrolle des ganzen Trennungsvorganges durchführen. In diesem Glase befindet sich ein kleines Gefäß *b*, das mit einem eingeschliffenen Ansatzstücke *c* zusammen zu einem Trennungsapparate, ähnlich dem Smeethschen, verbunden ist. In dieses Gefäß wird das zu trennende Pulver und die als schwere Schmelze dienende Substanz hineingebracht und das ganze (*a* + *b* + *c*) auf dem Wasserbade erhitzt. Die geschmolzene Substanz muß bis in die Röhre *c* hineinragen und das leichtere Pulver darf sich nicht in der Verengerung zwischen *b* und *c* sammeln. Nach vollzogener Trennung wird die mit einem Glaskonus versehene Verschlußröhre *d* hineingebracht, die in die untere Verengerung von *c* hineinpaßt. Dadurch werden leichtere und schwerere Portionen von einander abgetrennt. Man läßt nun erkalten und kann dann *c* + *d* von dem unteren Teile *b* entfernen. Durch Auflösen jeder der in beiden Teilen (*b*, bezw. *c* + *d*) enthaltenen Schmelzen nebst Mineralpartikeln in Wasser kann man nun sowohl das schwerere wie leichtere Pulver abtrennen. Die Körner

Fig. 274.



[1]) American Journal of Science, 1895. 50. 446—448. — Zeitschr. f. Kristallogr., 1896. 26. 134—137.

müssen gut ausgewaschen werden und das Waschwasser wird mit den erhaltenen Lösungen zur Rückgewinnung der ziemlich teuren Salze eingedampft.

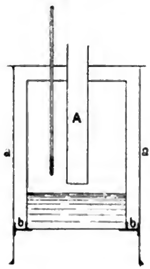
Man kann auch die Trennung innerhalb der Schmelze in einem Reagenzglase vornehmen und nach dem Erstarren dieses zerbrechen und den Kuchen in zwei Teile mit den leichteren oder schwereren Bestandteilen zerschneiden. Bei dieser Trennung sind folgende Vorsichtsmaßregeln zu beachten: da die Dichte der Schmelze sich leicht ändert, weil sowohl durch die fortgesetzte Verdampfung als auch durch eine zu früh eingetretene Abkühlung die Flüssigkeit schwerer wird, so ist es erforderlich, die Temperatur der Schmelze nach dem Schweben des Indikators und während der Mineraltrennung möglichst gleich zu halten, denn erst dann hat man die Gewißheit, daß die Trennung bei dem spezifischen Gewicht des Indikators (vgl. S. 593—595) sich vollzogen hat. Es ist darum gut, daß man kurz vor dem Schweben des Indikators (was man schon an der leichten Beweglichkeit desselben während des Umrührens erkennen kann) unter dem vorher gut kochenden Wasserbade die Flamme entfernt, damit die Temperatur desselben bald 90° und 80° wird und der Wasserverlust der Schmelze sich möglichst verzögert. Auch während der Mineraltrennung ist ein Wasserbad von 80° vollkommen genügend, weil die Schmelze selbst heiß genug ist, und nur ihre möglichste Temperaturkonstanz bezweckt werden soll. Ein Herabnehmen des Becherglases von dem Wasserbade ist, wenn man nicht mit sehr großen Quantitäten der Schmelze arbeitet, wegen der zu raschen Abkühlung und Steigerung der Dichte nicht empfehlenswert. Sobald sich eine genügend hohe Schicht klarer Schmelze gebildet hat (also sobald die Mineraltrennung genügend zu stande gekommen ist), muß man vielmehr sehr rasch abkühlen, damit die Steigerung der Dichte der flüssigen Schmelze, welche einen Teil der gesunkenen Körner zum Steigen bringen würde, vermieden wird. Man bringt also das Reagenzglas oder den ganzen Penfieldschen Apparat in ein großes, mit Wasser gefülltes Gefäß und bewegt es hierin hin und her, bis die Schmelze erstarrt ist. Es muß hierbei natürlich Sorge getragen werden, daß kein Wasser mit der Schmelze in Berührung kommt, was bei dem Penfieldschen Apparate durch das starkwandige Schutzgefäß *a* bezweckt wird.

Oft kommt es jedoch vor, daß die oben beschriebenen Fürsorgen nicht so ängstlich in acht gehalten zu werden brauchen, wenn nämlich die zu trennenden Körper einen großen Unterschied im spezifischen Gewichte besitzen. Man kann dann das Reagenzglas vom Wasserbade entfernen oder letzteres ganz entbehren, indem man über einer freien Flamme erhitzt.

Schwieriger wird das Arbeiten mit den erst bei höheren Temperaturen schmelzenden Salzen, wie z. B. der Chlorblei-Chlorzink- oder der Silbernitratschmelze, von denen die erstere erst bei 400°, die letztere

bei 198° schmilzt. Penfield[1]) wendet bei Trennungen mit letzterem Salze ein doppelwandiges, zylindrisches Kupferluftbad an, dessen Durchschnitt Figur 275 zeigt. Der äußere Zylinder steht auf Füßen. Das innere Bad wird gehalten von Trägern *b* und ist mit einigen Durchbohrungen versehen, welche den Zweck haben, die Wärme der Flamme zu verteilen. Der Schacht *A* enthält ein Reagenzglas mit Silbernitrat, welches leicht im Schmelzflusse und auf konstanter Temperatur gehalten werden kann, und zwar für jede gewünschte Zeitdauer. Der letztere Umstand ist wichtig, um zirkulierende Strömungen zu vermeiden. Der Schmelzpunkt des Silbernitrates liegt bei 198° C., doch wurden 250° C. als jene Temperatur gefunden, bei welcher sich am besten arbeiten läßt. Das spezifische Gewicht der geschmolzenen Masse ist ungefähr 4,1 und kann durch Zusatz von KNO_3 erniedrigt werden. Das geschmolzene Salz bildet eine klare, bewegliche Flüssigkeit, in welcher die Gesteinspartikel sich frei bewegen, so daß die Trennung wie in jeder anderen schweren Flüssigkeit erfolgen kann. Beim Abkühlen erstarrt die Schmelze zu einem Kuchen mit den schwereren Teilen am Boden und den leichteren an der Oberfläche. Das Reagenzrohr kann leicht, wie schon oben angegeben, von dem Kuchen abgelöst und letzterer in zwei Teile geschnitten werden. Durch Auflösen in Wasser können die Mineralien getrennt werden.

Fig. 275.



Die Isolierung der gesunkenen Körner läßt sich auch sehr leicht und einfach durchführen, indem man das Reagenzglas unten durchstößt, die Glasscherben entfernt und den jetzt frei gelegten, unteren Teil der Schmelze über einer schräg gehaltenen Flamme abschmilzt. Die schweren Körner tropfen zusammen mit der Schmelze ab und werden in einer darunter gehaltenen Porzellanschale aufgefangen. Es muß sich aber eine 2—3 cm hohe Schicht reiner Schmelze zwischen den beiden Mineralschichten befinden, weshalb man die Schmelze nicht eher abkühlen darf, als bis sich eine solche gebildet hat. Auch darf man nur den Boden des Gefäßes zertrümmern und nicht das Ganze, damit der Schmelzkuchen durch Glas geschützt ist und nicht mit der Hand berührt zu werden braucht, wobei letztere geschwärzt würde.

Im allgemeinen wird es aber zweckmäßig sein, den Penfieldschen Apparat und dabei die Thalliumsilbernitratschmelze anzuwenden. Bei Anwendung der Chlorblei-Chlorzinkschmelze arbeitet man am besten auf dem Sandbade in einem Probierröhrchen unter Umrühren mit einem Platin-

[1]) Zeitschr. f. Kristallogr., 1894, Bd. 23, S. 66.

stabe. Die Auflösung der nach erfolgter Trennung geteilten Schmelze erfolgt in heißem Wasser unter Zusatz von etwas Salpetersäure.

Bezugsquellen für die Trennungsapparate. Die Apparate lassen sich nach den gegebenen Abbildungen und Beschreibungen von jedem Glasbläser anfertigen. Es ist von der Angabe besonderer Maße Abstand genommen worden, da man den Trennungsvorrichtungen je nach der beabsichtigten Verwendung ganz verschiedene Dimensionen geben sollte. Aus den schon mehrfach angeführten Gründen ist es zweckmäßig, möglichst geringe Dimensionen zu wählen. — Die meisten Apparate werden auch von den größeren Firmen, die mit chemischen Gerätschaften handeln, auf Lager gehalten, auch von Dr. Krantz, Rheinisches Mineralienkontor in Bonn. — Der im Handel befindliche Haradasche, Bröggersche und auch der Wülfingsche Apparat haben aber zumeist zu große Dimensionen. — Besondere Bezugsquellen werden noch angegeben für den Laspeyresschen (12 ccm Inhalt: 7 Mark) und den Bröggerschen Apparat: Geißlers Nachfolger Fr. Müller in Bonn, für den Haradaschen Apparat, auch in der verbesserten Johnsen-Müggeschen Form, die Firma C. Desaga in Heidelberg, für den Kaiserschen Apparat die Glasbläserei von H. Kobe & Co., Berlin NW. 100, Hannoverschestraße 14 (17 ccm Inhalt: 6 Mark).

d. Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Lösung.

Bei der Auswahl der Lösung und der Trennungsvorrichtung wird man sich nach dem Zwecke der Arbeit, der Zusammensetzung des Pulvers, der Korngröße der einzelnen Mineralien und schließlich auch nach den vorhandenen Mitteln richten und bald den einen, bald den anderen Apparat vorziehen. Was nun die Arbeit selbst betrifft, so verfährt man nicht etwa so, daß man in das Gemenge von Pulver und konzentrierter Lösung beliebig Verdünnungsflüssigkeit zugibt, sondern man wird durch vorhergegangene makroskopische oder durch mikroskopische Untersuchung des Gesteines im Dünnschliffe oder des Pulvers sich darüber klar zu werden suchen, welche Mineralien man wahrscheinlich zu trennen hat, welches deren ungefähre spezifische Gewichte sind, in welcher Reihenfolge man sie abscheiden wird, kurz man wird vorher einen vollständigen Plan der Arbeit entwerfen. In den meisten Fällen wird man dabei sich vor die Aufgabe gestellt sehen, eine Lösung von genau bestimmtem Gewichte herzustellen, um mit dieser den Scheideprozeß zu beginnen.

Zur Verdünnung benutzt man zweckmäßig kleine zylindrische Standgläser von etwa 9—10 cm lichter Höhe und 2,5 cm lichter Weite, die gut verschließbar sind, damit man die Flüssigkeit gehörig schütteln kann. In vielen Fällen wird man die Verdünnung in den Trennungsapparaten direkt vornehmen.

Man kommt am einfachsten zum Ziele mit den sogenannten Indikatoren. Man versteht darunter eine Reihe von Mineralien in kleinen, etwa erbsengroßen, reinen Splittern, die nach dem spezifischen Gewichte so geordnet sind, daß die einzelnen Elemente der Indikatorenskala einen

kleinen, annähernd gleichen Abstand voneinander haben. Zwei solche Indikatorenskalen, deren erste Goldschmidt [1]), deren zweite Stelzner [2]) aufgestellt hat, sind im folgenden mitgeteilt.

I (nach Goldschmidt).

Nr.	Name	Fundort	Spez. Gew.	Diff.	Nr.	Name	Fundort	Spez. Gew.	Diff.
					10	Eläolith	Brevig	2,617	0,033
1	Schwefel	Girgenti	2,070	0,090	11	Quarz	Middleville	2,650	0,039
2	Hyalit	Waltsch	2,160	0,052	12	Labradorit	Labrador	2,689	0,026
3	Opal	Scheiba	2,212	0,034	13	Calcit	Rabenstein	2,715	0,018
4	Natrolith	Brevig	2,246	0,038	14	Dolomit	Muhrwinkel	2,733	0,135
5	Pechstein	Meißen	2,284	0,078	15	Dolomit	Rauris	2,868	0,048
6	Obsidian	Lipari	2,362	0,035	16	Prehnit	Kilpatrick	2,916	0,017
7	Perlit	Ungarn	2,397	0,068	17	Aragonit	Bilin	2,933	0,087
8	Leucit	Vesuv	2,465	0,105	18	Aktinolith	Zillertal	3,020	0,105
9	Adular	St. Gotthard	2,570	0,047	19	Andalusit	Bodenmais	3,125	0,055
10	Eläolith	Brevig	2,617		20	Apatit	Ehrenfriedersdorf	3,180	

II (nach Stelzner).

Nr.	Name	Spez. Gew.	Differenz	Nr.	Name	Spez. Gew.	Differenz
1	Hyalit	2,173	0,039	13	Mejonit	2,669	0,030
2	Opal	2,212	0,038	14	Labrador	2,699	0,030
3	Natrolith	2,250	0,034	15	Beryll	2,729	0,059
4	Pechstein	2,284	0,036	16	Dysyntribit	2,788	0,080
5	Wavellit	2,320	0,047	17	Dolomit	2,868	0,044
6	Obsidian	2,367	0,027	18	Prehnit	2,912	0,021
7	Petalit	2,394	0,093	19	Aragonit	2,933	0,107
8	Leuzit	2,487	0,078	20	Turmalin	3,040	0,114
9	Orthoklas	2,565	0,021	21	Andalusit	3,154	0,055
10	Feuerstein	2,586	0,023	22	Hornblende	3,209	0,041
11	Eläolith	2,609	0,030	23	Diopsid	3,250	0,040
12	Oligoklas	2,639	0,030	24	Axinit	3,290	0,058
13	Mejonit	2,669		25	Olivin	3,348	

[1]) Neues Jahrb. f. Min., 1881. Beil.-Bd. I. 215. — Verh. k. k. Reichsanstalt Wien 1883. 68—70. — Die Indikatoren sind von Mechaniker P. Stoë, Heidelberg oder Dr. Krantz, Bonn zu beziehen.

[2]) A. Stelzner, Die Entwicklung der petrographischen Untersuchungsmethoden in den letzten fünfzig Jahren. Mit besonderer Berücksichtigung der mechanischen Gesteinsanalyse. Festschrift der Gesellschaft Isis, 1885. S. 33.

Soll nun das spezifische Gewicht einer Lösung genau mit dem eines der Indikatoren übereinstimmen, so legt man ihn in eine Scheideflüssigkeit von etwas höherem spezifischen Gewichte und verdünnt diese durch tropfenweises Zugeben von Wasser resp. anderer Verdünnungsflüssigkeit so weit, daß der Indikator an jeder Stelle der Flüssigkeit verharrt, weder sinkt noch steigt. Man erkennt die Annäherung an den Gleichgewichtszustand daran, daß der Indikatorsplitter sich auf die hohe Kante stellt. Liegt das gewünschte Gewicht zwischen den Gewichten zweier Indikatoren, so wirft man beide in die Flüssigkeit und verdünnt so weit, daß der schwerere langsam sinkt, der leichtere dagegen aufsteigt. Um eine gehörige Mischung der Flüssigkeiten zu erzeugen, muß man das Gefäß während des Verdünnens tüchtig schütteln. Ist die Lösung eingestellt, so entfernt man die Indikatoren vermittels eines unten rechtwinklig gebogenen Glaslöffelchens. Die Entfernung der Indikatoren ist unnötig, wenn man sich der Trennungsapparate mit weit durchbohrten Hähnen bedient (verbesserter Harada, Kaiser), wobei dann die Indikatoren auch anzeigen, ob sich während der Trennung das spezifische Gewicht ändert oder nicht.

Johnsen und Mügge schlagen sehr zweckmäßig vor, an Stelle der Mineralien Gläser verschiedenen spezifischen Gewichtes (von der Firma Schott u. Gen. in Jena) zu nehmen und zwar (nach der Liste Nr. 268, 1902, genannter Firma):

Nr.	Spez. Gew.[1])	Nr.	Spez. Gew.[1])
0,154	3,15	0,138	2,68
0,364	3,01	0,381	2,68
0,846	2,98	0,546	2,59
0,726	2,88	0,144	2,48
0,164	2,78		

Die Differenzen sind etwas sehr ungleichmäßig, zum Teil auch sehr groß. Man kann die Lücken aber durch weitere Gläser genannter Firma ausfüllen[2]). Diesen Indikatoren wird am besten Würfelform von 4 mm Kantenlänge gegeben. Sie werden bis auf eine Seite mattgeschliffen und, um sie in der Lösung bequem sichtbar zu machen, mit Graphit geschwärzt; die letzte Seite der Würfel wurde poliert und das spezifische Gewicht mit Diamant darauf vermerkt.

J. E. Wolff[3]) stellte einfache Indikatoren her, indem er in kleine Glasröhrchen verschieden große Quecksilbermengen einschmolz. In die Glas-

[1]) Korrigiert gegenüber der Schottschen Liste.

[2]) Die Liste Nr. 434 vom Juli 1905 enthält noch eine große Zahl weiterer Gläser, die zu Indikatoren Verwendung finden können. Ohne Schwierigkeiten läßt sich das spezifische Gewicht der Glasindikatoren bis zu 5 steigern, so daß sie auch bei schweren Schmelzen verwandt werden können.

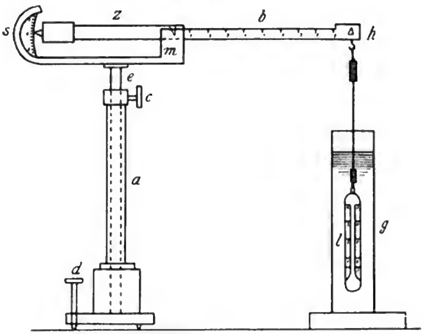
[3]) Bulletin of the United States Geological Survey, Nr. 150. S. 21.

röhrchen kann auch das Ende feiner Platindrähtchen eingeschmolzen werden, mit denen man diese Indikatoren leicht aus der Flüssigkeit entfernen kann.

Hat man keine Indikatoren zur Verfügung, so bestimmt man das spezifische Gewicht mittels der Mohrschen Wage, oder mit der auf Vorschlag von Cohen durch den Mechaniker Westphal in Celle verbesserten Mohrschen Wage: Westphalsche Wage (Fig. 276)[1]). Sie kann weniger zur Einstellung einer Flüssigkeit auf ein bestimmtes spezifisches Gewicht benutzt werden.

Sie besteht (Fig. 276) aus dem bei *m* in einem Lager aufgehängten Wagebalken *z*—*b*, der nach links in eine Spitze ausläuft, deren Stellung an einer Skala *s* abgelesen werden kann. Bei horizontaler Stellung des Balkens

Fig. 276.



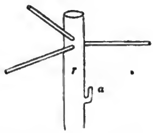
muß die Spitze auf den Nullpunkt der Skala eingestellt sein (Korrektion durch die Fußschraube bei *d*). Der Balken *b* ist von seinem Aufhängepunkte bei *m* bis zum Häkchen *h* in 10 Teile geteilt. Der Träger *m*—*s* des Wagebalkens ist fest mit der Skala bei *s* verbunden und senkt sich mit seinem Stiele *e* in den Hohlzylinder *a*, in welchem er vermittelst der Schraube *c* in jeder Höhe festgestellt werden kann. Dieser Hohlzylinder endet nach unten in einen massiven Fuß. An dem Häkchen *h* wird das zumeist mit Thermometerskala von 12—20° versehene Senkrohr *l* angehängt, welches in die Flüssigkeit eintaucht. Der Wage werden in Reiterform gearbeitete Gewichte in vier verschiedenen Größen beigegeben, vermittels welcher dem Auftriebe der Flüssigkeit entgegengewirkt und die Gleichgewichtslage des Balkens hergestellt wird; sie werden, soweit sie ganze Zahlen bedeuten,

[1]) Vgl. Cohen, Neues Jahrb. f. Min., 1883. 2. S. 88—89.

an das Häkchen *h* gehängt. Die zur Angabe der Dezimalen bestimmten Reiter werden dem Wagebalken *b* aufgesetzt und ihr Gewicht an der Skala dieses Balkens abgelesen. Nehmen wir an, der Balken spiele auf den Nullpunkt der Skala *s* ein, wenn zwei der Reiter am Häkchen *h* hängen; der für die Angabe der ersten Dezimale bestimmte Reiter sitze auf *8*, der kleinere für die zweite Dezimale bestimmte Reiter in der Mitte zwischen *4* und *5*, so wäre das spezifische Gewicht der Flüssigkeit 2,845.

Falls man die Bestimmung ausführen will, während das Gläschen oder der Trennungsapparat auch noch das Mineralpulver enthält, benutzt man nach dem Vorschlag von Linck[1]) eine enge Röhre (Fig. 277), die man in die Trennungsvorrichtung einsenkt. Sie ruht mit den seitlich angebrachten Glasarmen auf dem Rande des Apparates und füllt sich durch das umgebogene Röhrchen bei *a* mit der Lösung, ohne daß in dieser enthaltene Mineralkörner eindringen können. Das Senkröhrchen der Westphalschen Wage wird dann innerhalb der Röhre *r* in die Lösung getaucht. — Man hat dafür Sorge zu tragen, daß das Gefäß mit der Flüssigkeit zwischen der Mineraltrennung und der Bestimmung des spezifischen Gewichtes keine Temperaturänderung erleidet, da dadurch die erhaltenen Werte sehr beeinträchtigt werden können. Man hüte sich schon vor dem Erwärmen durch Anfassen mit der Hand. Die Einwirkung dieser Erwärmung läßt sich leicht zeigen, wenn man einen der Trennungsapparate mit schwebendem Indikator einige Zeit in der Hand hält.

Fig. 277.



Eine für viele Fälle zweckmäßige Abänderung der Mohr-Westphalschen Wage bietet die Rumannsche Wage[2]), bei der statt der Schneiden an dem einen Wagbalken vergoldete Stahlzylinder mit fein angeschliffenen gehärteten Schneiden seitlich in den Balken eingesetzt sind. Die Laufgewichte werden mittels stählerner, ebenfalls harter Häkchen auf die Schneiden aufgehängt. Die Wage ist weniger großen Veränderungen ausgesetzt. Die zugehörigen Senkkörper sind so gearbeitet, daß sie bei immer gleichbleibenden absoluten Gewichten das Volumen von 10 ccm (in anderen Fällen für geringe Flüssigkeitsmengen 5 bezw. 2 oder 1 ccm) einnehmen. Die Reiter, die zu dem Senkkörper von 10 ccm gehören, wiegen entsprechend 10 g, 1 g, 1 dg, 1 cg. Die Wage ist ferner eingerichtet, um auch das absolute und spezifische Gewicht fester Körper mittels Anwendung von Analysengewichten bestimmen zu können[3]).

---

[1]) G. Linck, Geognostisch-petrographische Beschreibung des Grauwackengebietes von Weiler bei Weißenburg. Abhandl. zur geol. Spez. Karte von Elsaß-Lothringen Bd. III, Heft 1. Straßburg i. E. 1884. — Inaug.-Diss. S. 41.

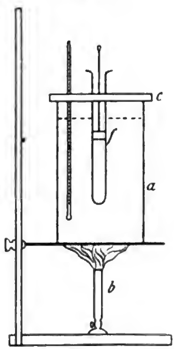
[2]) Chemikerzeitung, 1893. S. 1134.

[3]) Die Wage wird von Sartorius-Göttingen angefertigt.

An Stelle der Westphalschen bezw. Rumannschen Wage kann auch jede andere hydrostatische Wage treten[1]).

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes der schweren Schmelzen, speziell der Thalliumsilbernitratschmelze, mittels der Westphalschen Wage ist zumeist nicht möglich, da man gewöhnlich nicht genügende Mengen der Schmelzen zur Verfügung hat. Trenkler[2]) schlägt vor, diese Bestimmung durch Wägen und Messen vorzunehmen. Das Trennungsgefäß (*f* der Fig. 278) muß seinem eigenen Gewichte nach bekannt sein und auf 0,1 ccm genau kalibriert sein. Um eine Flüssigkeit von bekanntem Volumen und bekanntem absoluten Gewichte, also auch bekanntem spezifischem Gewichte in ein gewisses geringeres spezifisches Gewicht überzuführen, ist ein Zusatz von einer ganz bestimmten Quantität leichterer Flüssigkeit, in diesem Falle Wasser, nötig. Für das erforderliche Quantum Wasser gilt die nicht auf Druck und Temperatur korrigierte Formel

Fig. 278.



a Becherglas als Wasserbad, *b* Flamme, *c* Deckel des Wasserbades mit Durchbohrung für Thermometer und Reagenzglas, *f* als Trennungsapparat.

$$m = \frac{p - v\,s}{s - 1}$$

(m erforderliche Wassermenge, p Gewicht der zu verdünnenden Lösung, v ihr Volumen, s gewünschtes spezifisches Gewicht). Zum Zusatze des Wassers bedient man sich einer Bürette.

Als Indikatoren für die schweren Schmelzen benutzte Trenkler Chrysolith 3,31, Vesuvian 3,35, Titanit 3,48, Epidot 3,50, Akmit 3,61, Grossular 3,70, da er nur dieses Intervall im Auge hatte. Es lassen sich natürlich diese Indikatoren beliebig vermehren und sind auch besser durch Glasindikatoren zu ersetzen (vgl. S. 595, Anm. 2).

D. Trennung durch den Magneten.

a) Mit dem Magnetstabe. Zur Isolierung von stark magnetischen Mineralien spannt man nach dem Vorschlage von Cohen[3]) einen feinen Papierbogen feucht auf einen Holzrahmen mit Füßen. Die zu trennenden Mineralien streut man auf das Papier, fährt mit einem Magneten unter dem

[1]) Eine neue hydrostatische Schnellwage zur Bestimmung des spezifischen Gewichts wird soeben von Fr. Toula (Tscherm. min. u. petr. Mitt. 1907, Bd. 26, S. 233) beschrieben.

[2]) Tschermaks min. u. petr. Mitt., 1901. Bd. 20. S. 163.

[3]) Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden. Stuttgart 1896. S. 12. Anm. Nach Wülfing, Mikrosk. Physiogr. 4. Aufl. I. 1. (1904) schon von H. Fischer angewandt.

Papier hin und kann dabei die magnetischen Teile nach dem Rande des Papiers hinführen und isolieren. Um das Mitreißen von nichtmagnetischen Mineralien zu verhindern, muß man die nach der Seite gebrachten Mineralien nochmals auf dieselbe Weise behandeln. Man führt sie gegen den Rand des Rahmens, von wo sie mit einem Pinsel abgenommen werden. Je feiner das Pulver ist, umso öfter ist das Ausziehen zu wiederholen, da jedesmal mechanisch einzelne nichtmagnetische Körner mit fortgerissen werden. Als Magneten empfiehlt Cohen als recht zweckmäßig die breiten Stahlkämme, mit welchen die Maler Holzaderung nachahmen, da die Zacken hinlänglich elastisch sind, um ein direktes Bestreichen des Papiers ohne Verletzen desselben zu gestatten. Der Stahlkamm selbst wird durch einen kräftigen Hufeisenmagneten in der für den einzelnen Fall geeigneten Stärke magnetisch gemacht. Man kann auch eine magnetische Bürste verwenden, deren Drähte zur Erhöhung der Elastizität in einer Kautschukplatte befestigt sind.

b) Zur Trennung eisenhaltiger und eisenfreier Mineralien muß man einen Elektromagneten anwenden[1]). Wenn man durch verschieden starke Stromstärken in dem Elektromagneten eine verschiedene Stärke des Magnetismus hervorruft, kann man auf diesem Wege ein zu trennendes Pulver in eine ganze Reihe verschiedener Teile zerlegen und sogar damit eine Trennung unter sehr eisenarmen oder eisenfreien Mineralien bewerkstelligen.

Dölter hat durch eine Reihe von Versuchen folgende Skala hergestellt, die mit den Mineralien von größter Attraktionsfähigkeit beginnt und mit denjenigen endigt, die eben noch in ganz schwacher Weise dem Elektromagneten folgen.

1. Magnetit,
2. Hämatit, Ilmenit,
3. Chromit, Siderit, Almandin,
4. Lievrit, Hedenbergit, Ankerit, Limonit,
5. Eisenreiche Augite, Pleonast, Arfvedsonit,
6. Hornblende, lichtgefärbte Augite, Epidot, Pyrop,
7. Turmalin, Bronzit, Idokras,
8. Staurolith, Aktinolith,
9. Olivin, Pyrit, Kupferkies, Vivianit, Eisenvitriol,
10. Fahlerz, Bornit, Zinkblende, Biotit, Chlorit, Rutil,
11. Hauyn, Diopsid, Muskovit,
12. Nephelin, Leucit, Dolomit.

Zur Änderung der Stärke des Elektromagneten schlug Dölter die Anwendung von 2, 4, 6, 8 bis 12 Bunsenschen Elementen vor. Rosenbusch aber hat gezeigt, wie man den gleichen Zweck weit besser erreicht,

---

[1]) Fouqué, Comptes rendus, 1872. **75**. 1089—1091. — Dölter, Sitzungsber. d. Wiener Akademie 1882. **85**. 47—71. 442—449. — v. Pébal, ebenda, 1882. **85**. 147; **86**. 192—194. — Rosenbusch, Neues Jahrb., 1882. **2**. Ref. S. 252. — P. Mann, Neues Jahrb., 1884. **2**. 181—185. — Lagorio, Tschermaks Mitt. 1887. **8**. 431. — Wülfing, Neues Jahrb., 1891. Beil.-Bd. 7. 160. — Trenkler, Tschermaks Mitt., 1901. **20**. 161.

wenn man sich eines in einem galgenförmigen Gerüste aufgehängten hufeisenförmigen Elektromagneten bedient, an dessen Polen (*a* und *b* in Fig. 279) Platten aus weichem Eisen beweglich angeschraubt sind, an denen spitze Keile auf der inneren Seite (Fig. 279) befestigt sind. Die magnetische Wirkung wächst überaus rasch, je mehr man die Keile einander nähert, und nimmt ebenso rasch ab, wenn man sie voneinander entfernt. Die Platten werden in der geeigneten Entfernung festgeschraubt, man schließt den Strom des Elektromagneten und nähert das zu trennende Pulver auf einem Papierstück oder in einem flachen Uhrglase den Schneiden der keilförmigen Ansätze, welche nun die Pole bilden, oder läßt die Pole selbst in das Pulver eintauchen. Dann zieht man das Papier zurück und läßt unter Unterbrechung des Stromes das vom Magneten angezogene Pulver auf ein anderes Uhrglas fallen, wobei man durch Anschlagen an die keilförmigen Ansätze oder durch Lockern der Schraube, die die Platten am Magneten festhält, oder mit einem Pinselchen oder einer kurzgeschnittenen Feder die etwa haftenden Körnchen entfernt. In derselben Weise wiederholt man das Ausziehen und erleichtert sich das wiederholte Öffnen und Schließen des Stromes durch einen kleinen Quecksilberunterbrecher. Ein kräftiges Chromsäureelement dient als Batterie. Das beschriebene Verfahren ist besonders geeignet für den Fall, daß die Aufgabe in dem Ausziehen großer Mengen von magnetischen Mineralteilen besteht. Will man aber umgekehrt aus einem an eisenfreien Mineralien reichen Gemenge ein geringes Quantum eisenhaltiger Stoffe ausziehen, so benutzt man eine von Pébal zuerst angegebene, von Mann verbesserte Methode, nach welcher die Extraktion nicht aus dem trockenen, sondern aus dem im Wasser suspendierten Pulver

Fig. 279.

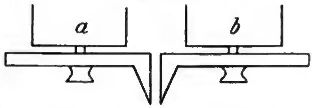
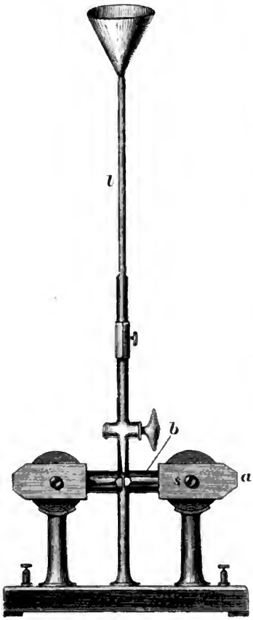


Fig. 280.



erfolgt. Pébal rührte in einem Becherglase das Pulver mit einem Glasstabe auf und führte unter fortwährendem Umrühren und Bewegen den Elektromagneten in der Flüssigkeit selbst umher. Viel zuverlässiger ist das Mannsche Verfahren, nach welchem die beiden oben beschriebenen keilförmig zugespitzten Pole des horizontal gestellten Hufeisenmagneten mit den messerschneidenartigen Enden in etwa 5 mm Abstand voneinander vertikal und parallel eingestellt werden. Alsdann läßt man das mit Wasser angesetzte Pulver in eine Art Bürette (Fig. 280) mit trichterförmiger Erweiterung am oberen Ende und einem Hahn am unteren Ende einfließen und zwar gibt man das Wasser so schnell in den Trichter hinein, daß die in dem langen Trichterrohre befindliche Luft nicht entweichen kann, sondern als langgestreckte Luftblase zurückbleibt. Damit erreicht man, daß für das mit dem Pulver gemengte Wasser nur ein schmaler Durchgang zwischen der Rohrwandung und der Luftblase übrig bleibt, so daß die schweren Teile des Pulvers sich nicht sofort niedersetzen und weder die Hahndurchbohrung noch die Rohrmündung verstopfen können. Infolge dieser Länge des Weges und wegen der daraus hervorgehenden größeren Reibung ist das Pulver gezwungen, in gleichmäßiger Mengung mit Wasser und in stetigem, ruhigem Strome an den Rohrwandungen herab und an den Polen des Elektromagneten vorbeizufließen. An diesen bleiben die ausziehbaren Teilchen haften und werden nach Unterbrechung des Stromes von den Polenden ab in ein Schälchen gebracht. Diese Methode ist allerdings nur in speziellen Fällen anwendbar.

E. Trennung nach der Schmelzbarkeit.

Die verschiedene Schmelzbarkeit [1]) gestattet zumeist nur eine annäherungsweise Trennung. Man benutzt die Schmelzbarkeit aber oft zweckmäßig zur Bestimmung der Mineralien, weshalb hier auf die Methode eingegangen werden soll. Man muß sich zur Prüfung der Schmelzbarkeit einen feinen Splitter zu verschaffen suchen, den man in der Platinpinzette oder auf Kohle vor dem Lötrohr, bei den leicht schmelzbaren auch direkt in der Flamme erhitzt. Erze sind in der Eisenpinzette zu prüfen. Mineralien, welche stark verknistern, reibt man zu einem feinen Pulver und streicht dieses dann, etwas mit Wasser befeuchtet, auf die Kohle. Beim Erhitzen vor dem Lötrohr vereinigen sich die Teilchen, wenn die Probe schmelzbar ist, so daß man dann die zusammengebackene Masse mit der Pinzette fassen und weiter in der Flamme behandeln kann. Feine Mineralpulver oder feinere Sande behandelt man auf gleiche Weise, indem man sie, mit Wasser befeuchtet, als Brei auf die Kohle streicht.

[1]) Vgl. Dölter, Die Vulkane der Capverden und ihre Produkte. Graz 1882. 69. — Kobell-Öbbeke, Tafeln zur Bestimmung der Mineralien. 14. Aufl. München 1901. — Szabó, Über eine neue Methode, die Feldspate auch in Gesteinen zu bestimmen. Budapest 1876. — Spezia, Atti R. Acad. Torino. Bd. 22. Febr. 1887.

Wendet man zur Prüfung einer Substanz auf ihre Schmelzbarkeit in der Pinzette eine reine starke Oxydationsflamme an, d. h. erhitzt man die äußerste Kante oder Spitze der angewandten Probe in der äußeren Flamme so, daß noch ein geringer Abstand zwischen der Spitze der blauen Flamme und der Probe wahrzunehmen ist, so sieht man sehr bald, ob die Substanz schmelzbar ist oder nicht. Die unschmelzbaren Mineralien behalten ihre scharfen Kanten unverändert bei, wovon man sich jedoch nur mit Hilfe der Lupe überzeugen kann, die schwer schmelzbaren runden sich an den Kanten ab und die leicht schmelzbaren schmelzen zu einer Kugel. Man kann daher in Bezug auf ihre Schmelzbarkeit vor dem Lötrohre die Substanzen einteilen:

1. in solche, die sich zu Kugeln schmelzen lassen und zwar a) leicht, b) schwer;

2. in solche, die nur an den Kanten geschmolzen werden und zwar a) leicht, b) schwer;

3. in unschmelzbare.

v. Kobell hat eine Skala aufgestellt, mit deren Schmelzbarkeit man diejenige der zu prüfenden Mineralien vergleicht. Sie enthält folgende Glieder, denen in Klammern die ungefähre Temperatur, verglichen mit der Glut des feinen Platindrahtes, an dem die Probe in die Flamme gehalten wird, nach Bunsen beigefügt ist[1]):

1. Antimonglanz, welcher schon an der bloßen Lichtflamme schmilzt (unter Rotglut).

2. Natrolith, welcher an der Lichtflamme nur in feinen Nadeln, vor dem Lötrohre dagegen selbst in Stücken noch leicht geschmolzen werden kann. (Beginnende Rotglut.)

3. Almandin (Toneisengranat), welcher an der Lichtflamme gar nicht, vor dem Lötrohre aber noch recht gut in etwas stumpfen Stücken schmilzt. (Rotglut.)

4. Amphibol (Strahlstein aus dem Zillertale) (beginnende Weißglut), schmilzt merklich schwerer als Almandin, aber leichter als

5. Adular vom St. Gotthard (Weißglut).

6. Bronzit von Kupferberg kann nur noch in den feinsten Spitzen abgerundet werden (strahlende Weißglut).

7. Quarz, vor dem Lötrohr unschmelzbar (schmelzbar in strahlender Weißglut, z. B. dem elektrischen Flammenbogen).

Dölter[2]) schlug vor, an Stelle der Kobellschen Skala, die zu viele Mineralien von schwankender Zusammensetzung enthält, folgende zu setzen: 1. Antimonit 525°, 2. Steinsalz 815°, (oder Analcim 870—880), 3. Spodumen 920°, 4. Hornblende von Lukow 1025—1030°, 5. Albit 1100°, 6. Orthoklas 1155°, 7. Leucit 1300—1320°, 8. Enstatit 1380—1400°.

Die verschiedene Schmelzbarkeit läßt sich nach Dölter auch zur annähernden Bestimmung des Schmelzpunktes verwenden.

---

[1]) Vgl. Brauns, Chemische Min., 1896. S. 22.

[2]) Tschermaks min. u. petr. Mitt. 1901. **20**. S. 213.

Die Mineralien von möglichst gleichmäßiger Größe werden auf ein Platinblech aufgestreut und dieses mit dem Gebläse erhitzt, mit welchem allmählich verschieden hohe Temperaturen erzeugt werden. Man kann dabei die Grade: dunkle Rotglut, helle Rotglut, beginnende Weißglut, helle Weißglut unterscheiden und außerdem die Zeitdauer berücksichtigen. Hat man verschiedene analysierte Mineralien, von denen man ausgehen kann, so kann man angeben, zwischen welchen von ihnen der Schmelzpunkt des zu bestimmenden Minerales liegt. Um nach der Schmelzbarkeit die Mineralien zu sondern, allerdings auch nur annäherungsweise, breitet man die Mineralien neben einander auf dem Platinbleche aus, was man durch Benutzung eines Siebes sehr erleichtert. Durch langsames Steigern der Temperatur erreicht man, daß die leicht schmelzbaren auf dem Bleche anschmelzen, worauf man die anderen entfernen kann. Zu diesem Zwecke kann man sich auch in einigen Fällen der Eigenschaft mehrerer Mineralien bedienen, durch Schmelzen magnetisch zu werden, da sich diese, nachdem man sie vom Blech mittels eines Messerchens entfernt hat, durch eine Magnetnadel von anderen Mineralien trennen lassen.

Zur genaueren Bestimmung des Schmelzpunktes der Mineralien sowie Gesteine bedarf man anderer Methoden, die namentlich von Dölter ausgebildet sind, auf die aber, da sie den Geologen nur seltener beschäftigen, hier nur hingewiesen werden soll[1]). Elektrische Öfen, wie sie von der Firma Heraeus in Hanau geliefert werden, haben sich zu derartigen Untersuchungen als zweckmäßig erwiesen[2]). Die Bestimmung der Schmelztemperatur erfolgt durch Thermoelemente.

F. Trennung auf chemischem Wege.

Zur Trennung der einzelnen Mineralkörner wird man sehr häufig zu chemischen Methoden greifen müssen, sobald man weiß, welche Mineralien man in dem Aggregate etwa zu erwarten hat. Die Methoden, die hier angewandt werden können, sind so mannigfach, daß es unmöglich ist, einen allgemeinen Plan anzugeben, nach dem man vorgehen muß. Vielmehr ist es hier noch mehr wie bei der mechanischen Analyse erforderlich, daß man sich eine genaue Übersicht über die in Betracht kommenden Mineralien, ihre Zusammensetzung und ihre Widerstandsfähigkeit gegen chemische Agentien verschafft und sich auf Grund dieser einen Operationsplan aufstellt, dem man dann folgt. Es kommt hier auf einige chemische Geschicklichkeit an, die dem Geübten bis zu einem gewissen Grade Erfolg, dem

1) Dölter, Physikalisch-chemische Mineralogie. Leipzig 1905. 99. (Zahlreiche Literaturangaben.)

2) Traube, Zentralbl. f. Min., 1901. 680. — Dölter, Tschermaks min.-petrogr. Mitt., Bd. 21. S. 22—24. — Zentralbl. f. Min., 1901. 589. 1902. 426; Physikalisch-chemische Min., Leipzig 1905. S. 123—124.

nicht Geübten dagegen kaum irgendwelche brauchbaren Resultate verspricht. Nirgends ist blindes Versuchen weniger angebracht wie hier.

Derartige Methoden sind schon von Cohen[1]) zusammengestellt worden. Dessen Zusammenstellung ist im folgenden teilweise zu Grunde gelegt. Weitere Winke sind auch in den Werken von Behrens[2]) enthalten. Weitere Quellen gibt die folgende Zusammenstellung, in der die weniger wichtigen Trennungsmethoden nur angedeutet werden können oder auf die nur hingewiesen werden kann.

a) Verhalten der Mineralien gegenüber den verschiedenen Lösungsmitteln[3]).

Die folgenden Daten können zu einer Trennung der Mineralien nach ihrem Verhalten gegenüber den verschiedenen Lösungsmitteln Verwendung finden.

1. Gegen Wasser. Leicht löslich: Carnallit, Tachyhydrit (beide schon an der Luft zerfließend), ferner Steinsalz, Sylvin, Salmiak, Soda, Salpeter, Tonerde- und Eisensulfate, Alaun, Vitriole, Bittersalz, Borax, Sassolin u. s. w.; schwer löslich: Anhydrit, Gips, Kieserit; unter Zerfall teilweise löslich: Glauberit (SO_4Na_2 wird leicht gelöst; SO_4Ca bleibt zurück); Carnallit ($MgCl_2$ leichter gelöst als KCl).

2. Gegen Salzsäure. Löslich ohne Gasentwicklung und ohne Rückstand: Eisenglanz, Brauneisenstein, Magneteisen z. T., Antimonblüte, Atacamit, Phosphate (z. B. Apatit) und Arseniate, Boracit; löslich ohne Gasentwicklung mit Rückstand: Silikate, deren Kieselsäure entweder gallertartig (Nephelin, Sodalithgruppe z. T., Wollastonit, Kieselzinkerz, Analcim, Gehlenit, Melilith, Olivingruppe, Serpentin, Natrolith, Phillipsit u. a.) oder pulverig abgeschieden wird (Leucit, Meionit, Apophyllit, Anorthit, Serpentin, Prehnit, Chabasit u. a.); löslich mit Gasentwicklung: alle Karbonate unter Entweichen von CO_2, manche in der Kälte (Kalkspat, Aragonit, Witherit, Strontianit u. a.), andere erst in der Wärme (Dolomit, Magnesit u. a.); — Sulfide: Zinkblende, Antimonglanz, Magnetkies (Entweichen von H_2S, Abscheidung von S); Magneteisen; Manganoxyde und Rotbleierz unter Cl-Entwicklung; gediegene Metalle, wie z. B. Eisen, Kupfer, unter H-Entwicklung.

3. Verhalten gegen Salpetersäure. Wirkt besonders auf die schweren Metalle und deren Verbindungen: In Lösung gehen die Nitrate der schweren Metalle; im festen Zustande werden abgeschieden: S (zuweilen

---

1) Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden nebst Angabe der Literatur. 3. Aufl. Stuttgart 1896. S. 15 u. f.

2) Anleitung zur mikrochemischen Analyse, Hamburg u. Leipzig 1895. 2. Aufl. 1899. — Mikrochemische Technik. Hamburg u. Leipzig 1900.

3) Vgl. Brauns, Chemische Min., S. 25 ff. — Weinschenk, Tabellen zu „gesteinsbildende Mineralien“. 2. Aufl.

zu SO_4H_2 oxydiert und zur Bildung von Sulfaten verbraucht); Sb_2O_3, As_2O_3. Gasförmig entweicht Stickstoffoxyd, NO, an der Luft gleich zu NO_2 oxydiert. — Manche Mineralien, die weder in Salzsäure noch in Salpetersäure löslich sind, lassen sich in einem Gemische beider (Königswasser) auflösen: Gold, Platin, Zinnober.

4. Verhalten gegen Schwefelsäure. (Vgl. S. 609.) In konzentrierter heißer Schwefelsäure sind manche Mineralien löslich (Anhydrit, Schwerspat, Cölestin, Bleivitriol), andere werden unter Gasentwicklung zersetzt (HCl aus Chlormetallen, z. B. Steinsalz; HFl aus Fluorverbindungen, wie Flußspat, Kryolith, Glimmer, Topas, Fluorapatit u. a.; HNO_3 aus Salpeter; O aus Superoxyden; CO_2 aus Karbonaten.

5. Verhalten gegen Flußsäure siehe S. 606—608, 610—613.

6. Verhalten gegen Kalilauge. In wäßriger Lösung (vgl. S. 613—615) löslich: Opal (Quarz teilweise, vgl. S. 614). Chalcedon, Tridymit, Schwefel, Realgar, Kaolin (weißer Rückstand).

7. Verhalten gegen Ammoniak. Mit blauer Farbe löslich: Atacamit; außerdem Sulfate, Karbonate, Arseniate und Phosphate des Kupfers.

Manche Mineralien werden nach dem Glühen oder Schmelzen von Säuren angegriffen, andere werden dadurch unlöslich (Zeolithe).

b) *Ausziehen von Karbonaten.*

Genauere Beschreibung überflüssig. Man wendet je nach dem auftretenden Karbonate kalte oder warme, schwächere oder stärkere Salzsäure an. Wenn man Karbonate von Silikaten trennen will, die von Salzsäure angegriffen werden, wendet man nach dem Vorschlage von Weinschenk[1]) eine wäßrige Lösung von Chlorsäure an (am besten selbst herstellen, indem man unter Vermeidung einer Erwärmung Baryumchloratlösung mit einem entsprechenden Quantum verdünnter Schwefelsäure mischt und, nach dem Absetzen des Baryumsulfates, die überstehende klare Flüssigkeit verwendet), vgl. auch c.

c) *Ausziehen von Gesteinspulvern mit stärkerer Salzsäure bei Gegenwart von Silikaten, von denen ein Teil zersetzbar, unzersetzbar oder auch schwach angreifbar ist.*

Diese bei der sogenannten Partialanalyse, namentlich früher, häufig angewandte Methode wird auch heute, je nach den speziellen Verhältnissen, Anwendung finden. Die Anwendung richtet sich nach den zu trennenden Mineralien und kann in mannigfacher Weise modifiziert werden[2]).

[1]) Gesteinsbildende Mineralien, 1907. S. 11—12.

[2]) Vgl. z. B.: A. Lacroix, Bull. soc. minéralogie, 1885. 8. 99—102. — Story Maskeline, Philosophical transactions, 1870. 208—210. — E. Cohen, Verh. nat. med. Vereins, Heidelberg 1877—1880. N. F. II. 161. Anm. — M. Bauer, Neues

Die Zersetzung einer ganzen Menge von Silikaten erfolgt schon unter der einfachen Behandlung mit Salzsäure. Aber nicht alle Kieselsäure der zersetzten Substanzen geht dabei in Lösung, deshalb ist es zweckmäßiger, die von van Bemmelen[1]) vorgeschlagene Methode zu verwenden. Er hat die Methode für die Bestimmung von Verwitterungssilikaten eingeführt, die in Salzsäure löslich sind. Dieselbe Methode kann natürlich hier für die Isolierung Verwendung finden. Nach der Behandlung mit Salzsäure wird der Rückstand während einiger Minuten mit verdünnter Kali- oder Natronlauge geschüttelt, unter sanfter Erwärmung auf ungefähr 50°. Dann löst sich die abgeschiedene und durch die Säure nicht gelöste Kieselsäure. Auch für die Abtrennung der unlöslichen Bestandteile ist diese Methode von Wert, da zurückbleibende Kieselsäure das Bild sehr trüben kann. (Vgl. auch S. 614.) Sie ist besonders anzuwenden, wenn man gelatinierende Silikate (wie z. B. Nephelin, Zeolithe, Kieselzinkerz u. a.) fortschaffen will. Wülfing[2]) erzielte eine kräftige Einwirkung der Salzsäure, wenn er das Gesteinspulver zunächst bis auf 500° erhitzte.

A. Leopold[3]) benutzte die Einwirkung konzentrierter Schwefelsäure zur Kaolinbestimmung im Tone. Er behandelt die zu untersuchende Substanz mit 50 ccm konzentrierter Schwefelsäure und 100 ccm Wasser 4—4½ Stunden, bis sich die Schwefelsäuredämpfe zu entfernen begannen. Die Lösung wurde auf 1000 ccm verdünnt. Nach dem Absitzen wurde in 250 ccm die Tonerde bestimmt. Diese Tonerde entspricht dem durch Schwefelsäure zersetzbaren Kaolin. Etwa vorhandene, durch Schwefelsäure zersetzbare, aluminiumhaltige Silikate lassen sich nicht ausscheiden, erhöhen deshalb den Tonerdegehalt, der dem Kaolingehalt entsprechen würde. Die Menge der Mineralfragmente ergibt sich aus der Differenz der bei der Bauschanalyse erhaltenen und der dem Kaolin entsprechenden Tonerdemenge, multipliziert mit 5,41. Dieselbe Methode ist auch zur Abtrennung der nicht mit Schwefelsäure aufschließbaren Silikate brauchbar.

d) *Behandlung mit konzentrierter Flußsäure zur Zersetzung einzelner Silikate oder zur Isolierung von Mineralien*[4]).

Die Flußsäure oder Salzsäure und Flußsäure gemeinsam greifen kieselsäurearme Mineralien gewöhnlich weniger intensiv an wie kieselsäure-

---

Jahrb., 1898. II. S. 200—202. — Brauns, Neues Jahrb., 1904. Beil.-Bd. 18. 315. — v. John, Zeitschr. f. prakt. Geol. 1905, 319. — Hillebrand, Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 305, 1907.

[1]) Zeitschr. f. anorg. Chemie, 1904. 42. 266.

[2]) Jahreshefte des Ver. f. vaterl. Naturkde. in Württemberg, 1900. 56. 23.

[3]) Leopold, Andor, Kaolinbestimmung im Tone. Magyar Chemiai Folyoirait. Bd. XI. S. 177—183. Budapest 1905 (Ungarisch). — Ref. Geolog. Centralbl. 8. 406—407.

[4]) Zu benutzende Apparate werden S. 612—613 besprochen.

reiche. Es werden nicht angegriffen[1]): Anatas, Andalusit, Axinit, Beryll, Chromit, Disthen, Diaspor, Eisenkies, Flußspat, Graphit, kohlige Substanz, Korund, Perowskit, Rutil, Sillimanit, Spinellgruppe, Sprödglimmer, Staurolith, Topas, Turmalin, Zinnerz, Zirkon. Sehr schwer angreifbar: Mineralien der Granatgruppe, der Glimmer-, Hornblende- und Pyroxengruppe, Titanit, Magnetkies, Eisenglanz. Magneteisen und Titaneisen sind nach Zalinski innerhalb 70 Stunden völlig lösbar. Leicht angegriffen: Leucit, Feldspäte (Plagioklas leichter wie Orthoklas), Mineralien der Sodalithgruppe, Gesteinsglas u. s. w.

Für die gewöhnlichen Versuche werden die Mineralien der beiden erstgenannten Gruppen sich als unlösbar erweisen und zurückbleiben, während die zuletzt aufgezählten Mineralien in Lösung gegangen sind.

Die spezielle Trennung muß man so durchführen[2]), daß das Gestein durch Schlämmen zunächst von dem feinsten Pulver befreit und in Proben verschiedener Korngröße zerteilt wird.

Je nach dem Zwecke der Untersuchung wählt man die Korngröße des Pulvers: z. B. feineres Korn bis feinstes Pulver für die Isolierung der Mineralien der Grundmasse, gröberes für die der Einsprenglinge. Durch kürzere oder längere Behandlung geringer Mengen von Substanz mit konzentrierter Flußsäure gelingt es leicht, entsprechend der verschiedenen Angreifbarkeit einen oder mehrere Bestandteile zu entfernen. Anhaftende Glasteilchen, welche bei der Trennung mit Hilfe der Thouletschen Lösung oft sehr störend wirken, werden durch einige Sekunden anhaltende Einwirkung der Säure vollständig zerstört. Die den Mineralien anhaftende gelatinöse Kieselsäure bringt man dadurch fort, daß das Pulver unter einem schwachen Wasserstrahl anhaltend in der Schale mit dem Finger gerieben wird. Ist die größte Menge derselben mechanisch fortgeführt, so läßt man trocknen und erhitzt vorsichtig; die gelatinöse Kieselsäure wandelt sich in eine pulverige weiße Masse um, und nun wiederholt man die erste Operation. — Man kann aber auch das Pulver mit Kali- oder Natronlauge schütteln und die gelatinöse Kieselsäure in Lösung fortführen (siehe van Bemmelen, S. 606). Eine hierbei etwa eintretende Fällung von Eisenhydroxyd ist durch Salzsäure wieder zu entfernen.

Die Feldspäte, mit Ausnahme des Anorthits, widerstehen der Flußsäure ziemlich. Es bedarf längerer Einwirkung und der Anwendung von Wärme, um sie gänzlich zu zerstören.

Zurück bleiben die Pyroxene, Amphibole, Olivin, Biotit und Magnet-

---

[1]) Weinschenk, Gesteinsbildende Mineralien. 2. Aufl. 1907. Tabellen. — Zalinski, Zentralbl. f. Min., 1902. 647—649.

[2]) Vgl. Fouqué, Comptes rendus 1872. 75. 1090; 1874. 79. 869—872. — Öbbeke, Neues Jahrb. f. Min., 1881. Beil.-Bd. 1. 455—456. — H. Behrens, Mikrochemische Analyse, 1895. 174—177.

eisen, soweit keine weiteren, in Säure unlöslichen Mineralien vorhanden sind. In gewissen Fällen kann auch der Quarz oder ein Teil desselben, welcher schwerer angreifbar ist als die Feldspäte, in diesem Rückstande sein. Der Gang der chemischen Einwirkung auf die Mineralien ist unter dem Mikroskope zu verfolgen.

Mann [1]) erzielte bei dem Versuche der Trennung des Augites aus Phonolithen nach dieser Methode keine günstigen Resultate, da dieses Mineral, auch bei kürzerer Einwirkung der Flußsäure, stark angegriffen wurde.

Küch [2]) konnte durch Behandlung mit konzentrierter Flußsäure den Nachweis des Vorkommens von Quarz bei Gesteinen führen, in denen er so wenig vorkommt, daß er in mehreren Dünnschliffen fehlen konnte. Er übergoß das Gesteinspulver mit konzentrierter Flußsäure, kochte kurze Zeit stark und behandelte dann den Rückstand mit Schwefelsäure oder spülte durch Wasser die zersetzten Gesteinspartikel hinweg. Unter dem Mikroskop kann man dann die eckigen Quarzsplitter vorzüglich erkennen. Die übrigen zurückbleibenden Mineralien geben zu Verwechslungen keinen Anlaß.

Salomon [3]) fand, daß bei lange andauernder Behandlung mit Fluorwasserstoffsäure ohne Schwefelsäure kleinere Partikel von Spinell aufgelöst und größere angegriffen werden; bei mehrere Tage fortgestetzter Digestion verschwinden auch die größten Splitter, während winzige Korundsplitter selbst dann noch zurückbleiben. Auf diese Weise lassen sich die genannten Mineralien also von einander trennen.

K. Daniel [4]) fand, daß Quarzpulver von Flußsäure sehr viel weniger angegriffen wird, wie amorphe, gefällte Kieselsäure; dies läßt sich vielleicht zu einer rohen Trennung von Quarz und Opal benutzen.

e) Zersetzung aller Silikate mit Kieselflußsäure zur Isolierung von Quarz.

Reine Kieselflußsäure soll Quarz nicht angreifen [5]). Durch sekundäre Einwirkung von Stoffen, die durch die Zersetzung von anderen anwesenden Silikaten gebildet werden, zeigt sich Quarz auch angegriffen, wenn auch bei weitem nicht so heftig, wie Feldspat. Die auf diesem Wege erhaltenen Zahlen haben also nur den Wert, daß sie die Mindestmenge des anwesenden Quarzes angeben. (Vgl. auch die Angaben in Kapitel 82.)

---

1) Neues Jahrb. f. Min., 1884. II. S. 175.

2) Neues Jahrb. f. Min., 1886. I. S. 43.

3) W. Salomon, Geologische und petrographische Studien am Monte Aviólo im italienischen Anteil der Adamellogruppe. Z. d. D. G. G. 1890. Bd. 42, S. 525.

4) Zeitschr. f. anorg. Chemie, 1904. 38. 257—306.

5) Vgl. A. Müller, Journal f. prakt. Chemie, 1865. 95. 43—46; 1866. 98. 14—23. — Wunderlich, Beitrag zur Kenntnis der Kieselschiefer, Adinolen und Wetzschiefer des nordwestlichen Oberharzes. Dissertation, Leipzig 1880. 42—49. — Lorenzen, Öfversigt af Kongl. Vet. Akad. Förhandlingar 1884. Nr. 5. 190. — E. A. Wülfing, Neues Jahrb., 1891. Beil.-Bd. 7. 174. — Daniel, Zeitschr. f. anorg. Chemie, 1904. 38.

f) Behandlung mit verdünnter Schwefelsäure oder konzentrierter Salzsäure bei hoher Temperatur und hohem Druck.

Hazard versuchte auf diesem Wege Quarz im Gemenge mit Orthoklas und Albit quantitativ zu bestimmen[1]. Er bestimmte Kieselsäure und Tonerde und berechnete für die letztere die dem Orthoklas und dem Albit gehörige Kieselsäure[2]), die von der gesamten Kieselsäure in Abzug gebracht wurde. Der Rest ergibt die dem Quarz zugehörige Kieselsäure. — Auch die Gegenwart der nicht aufschließbaren Kalknatronfeldspäte bringt keinen erheblichen Fehler bei der Bestimmung hervor. Es wurde dann zunächst, der Tschermakschen Theorie entsprechend, die zur Konstitution des Anorthit erforderliche Tonerde aus dem gefundenen Kalk nach dem Verhältnis von 1 Kalk : 1,83214 Tonerde berechnet und von der gesamten Tonerde in Abzug gebracht, ferner für die erstere Tonerdemenge die vom Anorthit geforderte (1 Tonerde : 1,16959 Kieselsäure) und für die übrige Tonerde die zur Zusammensetzung des Orthoklas und des Albit erforderliche Kieselsäure berechnet und beide Kieselsäuremengen zusammen von der gesamten Kieselsäure in Abzug gebracht; der Rest ergibt die gesuchte Quantität des Quarzes.

Die Ausführung der Analyse erfordert die strenge Beachtung gewisser Regeln, indem einerseits die vollständige Aufschließung mehrerer Silikate ein äußerst sorgfältiges Pulvern derselben voraussetzt und anderseits ein unvorsichtiges Auswaschen des feinen Pulvers eine Trübung des Filtrats verursachen kann. Der empfehlenswerte Gang des Verfahrens ist folgender: Das Gesteinspulver wird mit 2 Teilen konzentrierter Schwefelsäure und 1 Teil Wasser in einer Glasröhre eingeschmolzen und 6 Stunden lang in einem Luftbade der Temperatur von 250° C. ausgesetzt. Nach dem Öffnen des Rohres wird dessen Inhalt in eine Schale ausgespült, nötigenfalls werden die an den Glaswandungen fester haftenden Teile vermittels eines mit kurzem Kautschukschlauche versehenen Glasstabes entfernt und die Säure vor dem Abfiltrieren gehörig verdünnt. Nachdem der Rückstand oberflächlich ausgewaschen ist, wird das Filter nebst seinem Inhalt in mäßig verdünnte Kalilauge gebracht und 1 Stunde lang auf dem Wasserbade digeriert, die Lösung abermals mit Wasser verdünnt, abfiltriert, anfangs mit verdünnter heißer Kalilauge und dann mit verdünnter Salzsäure ausgewaschen. Das wohl getrocknete Filter wird mit seinem Inhalt im Platintiegel eingeäschert, das Pulver mit Soda aufgeschlossen, und die Kieselsäure, die Tonerde und der Kalk in der üblichen Weise bestimmt[3]).

---

1) Zeitschr. f. analyt. Chemie von Fresenius. Bd. 23 (1884). S. 158 u. 159.

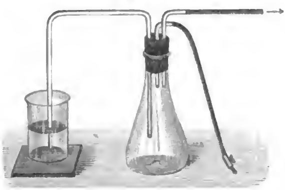
2) Nach dem Verhältnis zwischen Tonerde und Kieselsäure, das für beide Mineralien 1 : 3,50878 ist.

3) Andere Methoden zur Isolierung von Quarz, die aber kaum befriedigende Resultate geliefert haben, finden sich in folgenden Arbeiten: A. Müller, Quantitative Bestimmung des Quarzgehaltes in Silikatgemengen. — Löslichkeit des Quarzes in Phosphorsäure. Journ. f. prakt. Chemie. 1865. Bd. 95. S. 43—46. — Über die Bestimmung des Quarzgehaltes in Silikatgemengen. Ebenda 1866. Bd. 98. S. 14 bis 23. — F. Wunderlich, Beitrag zur Kenntnis der Kieselschiefer, Adinolen und Wetzschiefer des nordwestlichen Oberharzes. Inaug.-Diss. Leipzig 1880. S. 42 bis 49. — Vgl. übrigens auch die Angaben in Kap. 58, S. 539—40, sowie S. 610 u. f. — G. Lunge und C. Millberg, Über das Verhalten der verschiedenen Arten von Kieselsäure zu kaustischen und kohlensauren Alkalien. Ztschr. f. angew. Chemie, 1897. 393—399. 425—431. (Es wird empfohlen, zur Trennung quarzartiger und anderer

g) Behandlung des feinen Pulvers mit Flußsäure und Salzsäure oder Schwefelsäure.

Man[1]) wendet am zweckmäßigsten, besonders bei basischen Silikaten, zuerst eine Mischung von Salzsäure und Flußsäure an, da solche einerseits leichter lösliche Salze liefert, anderseits weniger auf die zu isolierenden Kriställchen einwirkt. Nur wenn sie nicht genügt (z. B. bei vielen glimmerartigen Mineralien), ersetzt man die Salzsäure durch Schwefelsäure. Man darf aber dann bei Gegenwart mancher Mineralien (z. B. von Tonschiefernädelchen) nicht direkt über der Flamme erhitzen, um die Fluoride zu zerstören, da die heiße Schwefelsäure einen Teil, ja das ganze zu isolierende Material auflösen kann. Zur Beschleunigung der Arbeit dekantiert man am besten nach dem Vorschlage von van Werveke mit einem Heber, der mit der Wasserluftpumpe verbunden ist. Man kann dann fast die gesamte Waschflüssigkeit abheben, nur muß man den Heber entfernen, solange er noch in letztere eintaucht, um die zuletzt sich bildenden kleinen Wirbel zu vermeiden. Das Gefäß zur Aufnahme der Flüssigkeit versieht man am besten mit Gummischlauch und Klemmschraube an einer dritten Röhre (Fig. 281). Nachdem der Apparat zusammengestellt und der Wasserhahn geöffnet ist, zieht man die Klemmschraube langsam an, um ein allmähliches Ansaugen zu bewirken.

Fig. 281.



Methoden zur Isolierung der Rutilnädelchen aus Tonschiefer sind von verschiedenen Seiten, so von Kalkowsky, Sauer, Cathrein, Cossa, van Werveke, angegeben worden[2]).

SiO_2 die Substanz mit heißen Alkalikarbonatlösungen zu behandeln, aber nur das durch Schlämmen von feinem Staube befreite Pulver. Quantitativ völlig genau ist aber auch diese Methode nicht. Vgl. S. 615—616.) — F. Rinne, Chemische Reaktionsfähigkeit von Quarz. Zentralbl. f. Min., 1904. 333—338.

[1]) Cohen, Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden. Stuttgart 1896. S. 17. — Vgl. auch Laspeyres, Die steinigen Gemengteile im Meteoreisen von Toluca in Mexiko. Zeitschr. f. Kristallogr., 1897. 27. 586 ff.

[2]) E. Kalkowsky, Über Tonschiefernädelchen. Neues Jahrb. f. Min., 1879. S. 382—387. — A. Sauer, Rutil als mikroskopischer Gesteinsgemengteil. Neues Jahrb. f. Min., 1879. S. 571; 1880. I. S. 280. — A. Cathrein, Ein Beitrag zur Kenntnis der Wildschönauer Schiefer und der Tonschiefernädelchen. Neues Jahrb. f. Min., 1881. I. S. 173—174. — A. Cossa, Rutil im Gastaldit-Eklogit von Val Tournanche. Neues Jahrb. f. Min., 1880. I. 162—164. — van Werveke, Neues

Kalkowsky verfuhr folgendermaßen: Fester frischer Tonschiefer wird in kleine, dünne Blättchen von 1 mm Länge und Breite und 1/4 mm Dicke zerlegt; die gesiebten Blättchen werden mit dem dreifachen Volumen konzentrierter Flußsäure übergossen und bleiben unter öfterem Umrühren bis zum anscheinenden Ende der Einwirkung im Kalten stehen. Dann wird konzentrierte Schwefelsäure hinzugefügt, wobei Erhitzung eintritt, die zur Aufschließung des etwaigen unzersetzten Schieferrestes genügt. Nach 24 Stunden (in der Kälte) dekantiert man das Säuregemisch möglichst und gießt den Rückstand in ein großes Becherglas mit Wasser. Nach dem Auswaschen wird der Bodensatz nach 24 Stunden in eine Platinschale gebracht, das Wasser zum größeren Teile verdampft, konzentrierte Salzsäure hinzugefügt, und die Masse etwa eine Stunde bei 60—80° digeriert. Dann fügt man Wasser hinzu, soviel die Platinschale noch faßt, erwärmt noch einige Zeit, entleert dann das Ganze in ein Becherglas mit Wasser, dekantiert die schwebenden Teile und behandelt den Rest noch einmal hintereinander bei gelinder Erwärmung mit Fluß-, Schwefel- und Salzsäure. Nach 24 Stunden dekantiert man und vereinigt den Bodensatz mit dem ersten Teilprodukte. Der nochmals mit konzentrierter Salpetersäure behandelte und 2—3mal ausgewaschene schwarze Bodensatz wird dann in einer Platinschale zur Trockne abgedampft, wobei man zuletzt Sorge zu tragen hat, daß der Bodensatz sich über eine möglichst große Fläche als dünner Überzug verteilt, dann durch Glühen vom Kohlenstoff befreit, und nun hat man als Rest die Nädelchen in der Form von fast hellgelbem Staube, untermischt mit ganz wenig Turmalinkriställchen.

Cathrein schlägt vor, lieber gepulverten Tonschiefer zu verwenden. Auch kam er schneller zum Ziele, wenn er das feine Gesteinspulver nach Zusatz von etwas Schwefelsäure mit Flußsäure wiederholt bis zum völligen Verschwinden des Quarzes auf dem Wasserbade behandelte, dann mit konzentrierter Salzsäure längere Zeit digerierte, die saure Lösung dekantierte, den wiederholt ausgewaschenen Bodensatz trocknete und zur Entfernung von Kohlenstoff (Graphit) stark glühte. Der Rückstand enthielt Rutil in größeren Kristallen, Zirkon, Turmalin und die Nädelchen. Letztere konnten von den erstgenannten drei Mineralien leicht getrennt werden, da sie im Wasser sich sehr langsam absetzten, während die größeren und schwereren Rutil- etc. Kriställchen schnell zu Boden sanken. Gießt man

---

Jahrb. f. Min., 1881. I. 178. — J. Lemberg, Über die Kontaktbildungen bei Predazzo. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1872. XXIV. S. 190. — B. Doß, Die basaltischen Laven und Tuffe der Provinz Haurân und vom Diret Et-Tulûl in Syrien. Tscherm. min. u. petrogr. Mitt., 1886. VII. S. 504. — K. Vogelsang, Beiträge zur Kenntnis der Trachyt- und Basaltgesteine der Hohen Eifel. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1890. XLII. S. 30. — Thürach, Verh. phys.-med. Gesellsch. Würzburg 1884. 18. S. 213. — Mitt. d. Bad. Geol. Landesanstalt, 1895. 3. 359.

die durch die Nädelchen getrübte Flüssigkeit vorsichtig ab, so erhält man sie schließlich ganz rein.

In ganz analoger Weise verfuhr Sauer bei der Isolierung des Rutils aus archäischen Gesteinen, wobei er die Identität der Nädelchen mit Rutil nachwies.

Zur quantitativen Isolierung von Korund gibt Pratt folgendes Verfahren an[1]): 2 g des gepulverten Gesteins werden 2 Stunden auf dem Wasserbade mit konzentrierter Salzsäure behandelt, der Rückstand abfiltriert, getrocknet und $1\frac{1}{2}$ Stunden mit 4 g CO_3Na_2 und 2 g CO_3K_2 über dem Bunsenbrenner geschmolzen. Die Schmelze wird in Wasser gelöst und das nicht Aufgelöste abfiltriert, mit verdünnter Salzsäure und mit einem Überschuß an konzentrierter Flußsäure behandelt. Die überschüssige Säure wird abgedampft, der verbleibende Rückstand mit heißem Wasser ausgewaschen und abfiltriert. Das Filter wird verascht. Der Rückstand gibt die Menge an Korund.

Die Zersetzung mit Flußsäure muß mit den nötigen Vorsichtsmaßregeln erfolgen. Es wird in vielen Fällen nur eine kleine Quantität von Substanz behandelt werden können.

Cohen[2]) war bemüht, die Methode derart zu modifizieren, daß sich größere Mengen von Material in Arbeit nehmen lassen, die Zersetzungsoberfläche möglichst vergrößert werden kann, die Zersetzung der Hauptsache nach bei gewöhnlicher Temperatur stattfindet und weniger Zeit in Anspruch nimmt, und daß die gleichzeitige Behandlung verschiedener Gesteinsproben ermöglicht ist. Er benutzte einen Bleitopf, welcher mit Deckel 10 cm (ohne Deckel 8,3 cm) hoch ist und einen lichten Durchmesser von 16,2 cm, bei 5 mm dicken Wandungen, besitzt. In diesem (Fig. 282) sind vier Schüsseln einsetzbar von $9\frac{1}{2}$, $11\frac{1}{2}$, $13\frac{1}{2}$, $15\frac{1}{2}$ cm Durchmesser. In die untere Hälfte des Topfes gibt man die zur Flußsäureentwicklung nötige Menge von Flußspat[3]) und Schwefelsäure. Das Gesteinspulver wird mit Wasser oder mit Wasser und Schwefelsäure durchfeuchtet und in den flachen Bleischüsseln ausgebreitet. Der mit einem starken Knopf versehene Deckel greift mit einem Falz über und

Fig. 282.



[1]) J. H. Pratt, Corundum and its occurence and distribution in the United States. Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 269. Washington 1906. S. 21.

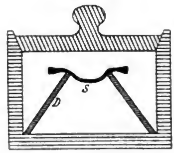
[2]) Mitt. d. naturwiss. Vereins f. Neuvorpommern u. Rügen, 1888. **20**. S. 13.

[3]) Wegen der Gipsbildung aus Flußspat und SO_4H_2 nimmt man zweckmäßiger gepulverten Kryolith.

kann so gearbeitet werden, daß ein besonderer Kitt unnötig ist. Die Einwirkung der Flußsäuredämpfe wird beschleunigt, wenn man den Topf an einen warmen Ort stellt. Auf den Mineralien bildet sich bald eine Salzkruste, so daß man den Topf öffnen, die Mineralien umrühren oder auch mit Salzsäure und Wasser, bei viel zurückgebliebener gelatinöser Kieselsäure auch mit Natron- oder Kalilauge behandeln muß. Der Rückstand muß dann nochmals in dem Topf auf gleiche Weise behandelt werden.

H. V. Graber[1]) beschreibt eine kleine Bleidose (Fig. 283) für die mikrochemische Silikatanalyse. Sie ist aber auch wohl für Mineraltrennungen brauchbar. Die Aufschließung erfolgt mit roher rauchender Flußsäure, die in den unteren Teil der Dose gegeben wird. Sie ist der Darstellung von Flußsäure mittels Schwefelsäure vorzuziehen, da diese sehr leicht als Exsikkator wirkt und den Wassertropfen aus dem Platinschüsselchen S absorbiert. Dem kann allerdings bis zu einem gewissen Grade abgeholfen werden, wenn man in die Platinschüssel auch etwas Schwefelsäure zugibt, was auch den Aufschluß und die Isolierung der nicht zersetzbaren Substanzen beschleunigt. Das ca. 2—3 g schwere Platinschüsselchen faßte bei den Graberschen Untersuchungen 1 ccm. Der Dreifuß, der dem Schüsselchen als Stütze dient, ist aus Platin- oder Bleidraht angefertigt.

Fig. 283.



h) Behandlung des Pulvers mit konzentrierter Natron-(Kali-)lauge.

Die bisher beschriebenen Methoden der Trennung von Silikaten und anderen Mineralien gehen von deren verschiedenem Verhalten gegen Säuren aus. Auf den Vorschlägen von Lemberg[2]) beruhen nun Methoden zur Abtrennung von Mineralien, die von kaustischen Alkalien nicht gelöst werden. Zahlreiche Silikate werden bei der Behandlung mit konzentrierter Kali- oder Natronlauge in durch Säuren lösbare Verbindungen übergeführt, doch erfolgt diese Umwandlung für die verschiedenen Silikate sehr verschieden rasch. Verhältnismäßig rasch entstehen aus allen Feldspäten, Kaolin und sonstigen tonigen Zersetzungsprodukten zeolithartige Verbindungen. Weniger rasch erfolgt die Umwandlung bei Hornblende, Augit, Biotit, recht langsam bei Andalusit, Prehnit, Epidot, Muskovit;

[1]) Zentralbl. f. Min., 1905. 247—248.

[2]) Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1883. **35**. 560. — E. Kaiser, Verhandl. d. naturh. Vereins d. preuß. Rheinlande. Bonn 1897. **54**. S. 93—95. — Zeitschr. f. Kristallogr., 1900. **33**. 200.

auch Quarz löst sich verhältnismäßig rasch in Natronlauge[1]). Quantitative Analysen von Gebirgsarten lassen sich nach diesem Verfahren nicht ausführen, sondern nur Isolierungen einzelner Bestandteile. Man verfährt folgendermaßen: Das nicht zu fein[2]) gepulverte Gestein wird mit möglichst konzentrierter Natronlauge (so daß die Lauge bei Zimmertemperatur zu Kristallbrei erstarrt) in einem geräumigen Platintiegel 24 Stunden auf dem Dampfbade bei 100° behandelt, wobei es durchaus nötig ist, in den ersten Stunden möglichst oft mit einem Platinstabe umzurühren, um ein Zusammenbacken zu verhindern. Nach 24stündiger Einwirkung[3]) wurde mit Wasser stark verdünnt, das Gelöste abgegossen und mit Salzsäure die entstandenen Zeolithe zerstört; nach dem Auswaschen wird der Rückstand von neuem, nun aber etwa 30 Stunden lang, mit Natronlauge auf dem Dampfbade behandelt. Das Verfahren wird so lange wiederholt, bis die gewünschte unter dem Mikroskope zu prüfende Reinheit erlangt ist. Man

---

1) Michaelis, Chemikerzeitung 1895. Bd. 19. 1422, behauptet, daß Quarz, bei der Anwendung von kaustischem Hydroxyd wie KOH oder NaOH, von siedenden 10 prozentigen (10 Prozent Na_2O) oder beim Digerieren auf dem Wasserbade selbst von 25 prozentigen Lösungen absolut unangreifbar sei, was aber mit den älteren Angaben von Lemberg, sowie neueren von Lunge und Millberg (Zeitschr. f. angew. Chemie, 1897. 393), sowie von Rinne (Zentralbl. f. Min., 1904. 334) nicht übereinstimmt. Quarz wird hiernach unter Umständen von Alkalilauge vollständig gelöst (vgl. S. 609–610).

2) Über die Größe des Korns läßt sich nichts Allgemeines angeben; je widerstandsfähiger das zu isolierende Mineral und in je relativ größerer Menge es vorkommt, desto feiner darf man pulvern; auch ist es bisweilen zweckmäßig, von neuem zu pulvern, nachdem man den größten Teil der zu entfernenden Mineralien gelöst hat. Man muß ferner einen bedeutenden Überschuß von Natronlauge nehmen, damit ihre Konzentration durch die teilweise Neutralisation durch Kieselsäure nicht beträchtlich geändert wird; Kalilauge wandelt Orthoklas langsamer um, als Natronlauge. — Bei der Untersuchung von Tonen durch E. Kaiser stellte es sich als zweckmäßig heraus, aus den Tonen sowohl die gröberen, wie die feinsten, vornehmlich aus Kaolin oder dem Kaolin ähnlichen Zersetzungsprodukten bestehenden Bestandteile abzuschlämmen. Der mittlere, meist auch größere Teil mit einer Korngröße von ungefähr 0,5–0,05 mm wurde nach der Lembergschen Methode behandelt.

3) Lemberg schlägt vor, die Lauge immer mit einer ca. 1 cm dicken Schicht geschmolzenen Paraffins zu bedecken, um Eintrocknen und Kohlensäureabsorption zu verhindern. Das Überdecken mit Paraffin ist aber sehr unreinlich. Es erwies sich bei meinen Arbeiten als zweckmäßiger, den Luftabschluß auf folgendem Wege auszuführen: Zur Erhitzung benutzt man ein Wasserbad, auf welchem sich ein mit einer Rinne versehener Deckel befindet, der die Platinschale mit Mineralgemenge und Natronlauge aufnimmt. In die Rinne setzt man einen umgekehrten Trichter und verschließt sie mit einer über 100° siedenden Flüssigkeit (z. B. Glyzerin). Sehr zweckmäßig ist es, einen mit einem Stiele durch das Trichterrohr hindurchreichenden Platinstab zum Umrühren zu belassen. Während des Versuches muß häufiger umgerührt werden, damit nicht durch Zusammenballen zerstörbare Mineralien erhalten bleiben.

behandelt dann noch kurze Zeit mit verdünnter Natronlauge bei 100° zur Lösung der durch Salzsäure abgeschiedenen Kieselsäure. Man erhält auf diese Weise ein Aggregat von Mineralien, das bei Anwesenheit von Quarz in den ursprünglichen Materialien diesen noch in ziemlich großen Mengen, bei nicht genügend langer Behandlung auch mehr oder weniger große Mengen von Feldspat enthält. Man muß deshalb auch noch andere Trennungsmethoden (schwere Lösungen etc.) zur völligen Isolierung heranziehen.

Glinka[1]) benutzte die Einwirkung von Kalilauge auf Tone, um den Gehalt von Kaolin und freien Aluminiumhydroxyden in Tonen zu bestimmen: Wenn Kaolin eine halbe Stunde über einem Münckebrenner geglüht und dann mit 33prozentiger Kalilauge gekocht wird, so geht in das Filtrat bei zweimaliger Behandlung fast die ganze Quantität der Kieselsäure und wenig Aluminiumoxyd über. Die freien Aluminiumhydroxyde gehen nach dem Glühen erst dann in Lösung, nachdem fast die ganze Kieselsäure gelöst ist.

i) *Behandlung mit Natrium-(Kalium-)karbonat.*

Kalkowsky[2]) isolierte Spinell aus Granulit durch Behandeln des Gesteinspulvers mit schmelzendem Kalinatronkarbonat, wobei Rutil, Quarz, Feldspäte und Glimmer in Lösung gehen, der Granat dagegen mit übrig bleibt. Von ihm ließ sich der feinsandige Spinell zum größten Teile durch einfaches Herabrollen auf geneigt gehaltenem Schreibpapier unter Anklopfen entfernen. Von den feinen Granatkörnchen kann durch wiederholtes Ausschmelzen mit dem Alkalikarbonat noch etwas entfernt werden, im ferneren durch Behandeln mit kalter Flußsäure; ganz rein, d. h. zur quantitativen Analyse geeignet, kann man aber den Spinell auf diese Weise nicht erhalten. Auch von öfter vorhandenem Andalusit läßt er sich nicht vollständig trennen.

Auch M. Koch[3]) machte die Erfahrung, daß die Isolierung des Spinells durch Schmelzen mit kohlensaurem Kalinatron zwar gelingt, daß jedoch der Rückstand (es handelt sich um Einschlüsse in Kersantit) immer mehr oder weniger durch Sillimanit- und Cyanitreste verunreinigt war, so daß es unmöglich war, mit Aussicht auf sichere Resultate chemische Reaktionen damit vorzunehmen.

Die Anwendung heißer konzentrierter Natriumkarbonatlösungen zur Bestimmung der löslichen Kieselsäure ist nach Hillebrand[4]) unzweckmäßig.

---

[1]) Zeitschr. f. Kristallogr., 1900. **32**. 79—81; 1902. **36**. 188—189.

[2]) Über Hercynit im sächsischen Granulit. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1881. Bd. 23. S. 535.

[3]) Die Kersantite des Unterharzes. Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt für 1886. S. 91.

[4]) Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 176. Washington 1900. S. 109.

Zur Abscheidung nicht geglühter, gefällter Kieselsäure von Quarz empfehlen Lunge und Millberg[1]) eine 15 Minuten dauernde Einwirkung einer 5prozentigen Lösung von Natriumkarbonat. Der Fehler, der durch den Angriff des Quarzes hervorgerufen wird, ist gering, kommt für eine Isolierung des Quarzes nicht in Betracht.

k) Bestimmung amorpher Kieselsäure.

Hatch[2]) schlug folgendes Verfahren ein, um aus verkieselten Gesteinen die amorphe Kieselsäure zu entfernen und zu bestimmen: Er stellte sich eine Lösung von 400 g Kaliumhydrat (puriss.) im Liter her und benutzte davon 20 ccm für 1 g Gesteinspulver. Das getrocknete und gewogene Gesteinspulver wird 1 Stunde lang auf dem Wasserbade bei häufigem Umrühren mit der Lösung gekocht, mit Wasser verdünnt, ein paarmal durch Dekantieren mit kochendem Wasser gewaschen, auf ein kleines gewogenes Filtrierpapierchen gebracht und so lange mit heißem Wasser gewaschen, bis ein Tropfen des Waschwassers keine Veränderung in der Farbe von rotem Lackmuspapier hervorbringt. Das Pulver wird dann in dem Trockenschrank bei 105° getrocknet und zwischen zwei mit einer Klammer verbundenen Uhrgläschen gewogen. Der Verlust gibt die amorphe Kieselsäure. (Vgl. auch die Angaben nach Daniel auf S. 608.)

l) Schmelzen des Gesteinspulvers zur Erkennung von Quarz.

In Andesiten konnte Küch[3]) den Quarz in der Weise kenntlich machen, daß er das Gesteinspulver im Platintiegel über einem kräftigen Gebläse zusammenschmolz; die sämtlichen Mineralien schmolzen dabei zu einem dunkelbraungrünen Glase zusammen, in welchem die unveränderten Quarzkörner sich wieder finden ließen.

Dies Verfahren ist natürlich nicht anwendbar, wenn Oxyde (Magneteisen) oder basische Mineralien für sich oder mit vorhandener Tonerde schmelzbare Produkte liefern.

m) Behandlung mit sogenannten neutralen Lösungsmitteln zur Unterscheidung bituminöser und kohliger Substanzen.

Zur Unterscheidung von unter dem Mikroskope nicht zu trennenden bituminösen und kohligen Substanzen wandte Cohen[4]) ein Extraktionsverfahren an. Er benutzte zu diesem Zwecke Äther und den Soxhlet-

[1]) Zeitschr. f. angew. Chemie, 1897. 393. 425. — Vgl. auch vorne Anm. 3 auf S. 609.

[2]) Tscherm. min. u. petrogr. Mitt., 1886. VII. S. 330—331.

[3]) Neues Jahrb. f. Min., 1886. I. S. 43—44.

[4]) Neues Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. V. 1887. S. 220. Vgl. auch Cohen, Meteoritenkunde, Heft 1. Stuttgart 1894. S. 17—19.

schen Extraktionsapparat, welcher gestattet, mit einer geringen Menge von Flüssigkeit beliebig lange zu operieren. Gelingt in vielen Fällen auch keine vollständige Extraktion, so erhält man doch nach Verdunstung des Äthers ölige Substanzen von ozokeritähnlichem Geruche und von mehr oder minder intensiver bräunlicher Färbung. Wendet man Lösungsmittel mit hohem Siedepunkte an (z. B. Xylol), so kann man die Extraktion natürlich auch in einem gewöhnlichen Kolben vornehmen.

n) *Behandlung, um Silikate, Sulfide, Phosphornickeleisen und Kohle von Metallen zu trennen.* (Vgl. auch S. 670.)

F. Wöhler, Über die Bestandteile des Meteorsteines von Bachmut in Rußland. Sitzungsber. d. Wiener Akad., 1862. XLVI. II. S. 305.

J. Boussingault, Analyse d'une fonte chromifère. Dosage du carbone dans la fonte, le fer et l'acier. Comptes rendus, 1886. LXVI. 874. Vgl. auch C. Rammelsberg, Beiträge zur Kenntnis der Meteoriten. Monatsber. d. Berl. Akad. d. Wissensch., 1870. S. 440—445. — Über den Meteorstein von Chantonnay. Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1870. Bd. 22, S. 889. — Über das Schwefeleisen des Meteoreisens. Ebenda S. 895—896.

N. Story-Maskelyne, On the mineral constituents of meteorites. Philos. Trans., 1871. S. 360.

E. H. v. Baumhauer, Sur la météorite de Tjabé, dans l'Inde Néerlandaise. Arch. Néerl., 1871. S. 312—318.

Pearse, Zeitschr. f. anal. Chemie, 1877. S. 504; vgl. auch K. R. Fresenius, Anleitung zur quantitativen chemischen Analyse. 6. Aufl. S. 415.

H. v. Foullon, Über die mineralogische und chemische Zusammensetzung des am 16. Februar 1883 bei Alfianello gefallenen Meteorsteins. Schr. d. Wiener Akad., 1883. S. 438.

C. Friedheim, Über die chemische Zusammensetzung der Meteoriten von Alfianello und Concepcion. Monatsber. d. Akad. d. Wissensch. zu Berlin, 1888. S. 187—188.

E. Cohen, Meteoritenkunde, Heft 1. Stuttgart 1894.

Laspeyres, Die steinigen Gemengteile im Meteoreisen von Toluca in Mexiko. Zeitschr. f. Kristallogr., 1897. 27. 586 ff.

Behrens, Anleitung zur mikrochemischen Analyse. Hamburg u. Leipzig 1895. S. 182 ff.

E. Cohen u. Weinschenk, Meteoreisenstudien. Annalen d. k. k. naturh. Hofmuseums, 1891. Bd. 6. 132—133.

E. Cohen, Meteoreisenstudien III. Annalen d. k. k. naturh. Hofmuseums, 1894. Bd. 9. 98—99.

G. Spezielle Trennungsmethoden.

Wenn die vorstehend angegebenen Trennungsmethoden zu keinem Resultate geführt haben, kann man zuweilen noch einzelne besondere Methoden anwenden, von denen die folgenden noch angeführt werden mögen:

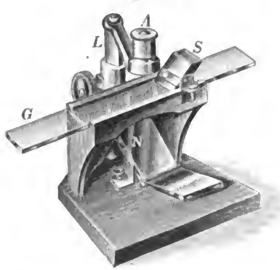
a) Absonderung dünner Blättchen (besonders glimmerartiger Mineralien) und feiner Nadeln tritt

nach dem Vorschlage von Rosenbusch[1]) ein, wenn man das Pulver (vor oder nach einer anderweitigen Trennung) über die schwach geneigte Fläche rauhen Schreibpapiers gleiten läßt. Die Glimmerblättchen bleiben unterwegs hängen, das Feldspatpulver gleitet herab.

Linck[2]) behauchte einen gewöhnlichen, gut gearbeiteten Glastrichter auf seiner Innenfläche und schüttete darauf rings im Kreise herum kleine Portionen des Pulvers. Der Glimmer blieb an der feuchten Wand haften, während alle mehr oder weniger eckigen Mineralkörner in ein untergestelltes Gefäß abrollten. Aufstoßen des Trichterrandes auf eine mit Papier belegte Tischplatte genügt, den Glimmer zu gewinnen. Um ganz reines Material zu erhalten, muß man jedoch das Verfahren mehrfach wiederholen; dabei ist es zweckmäßig, das Pulver aus stets größerer Höhe in den Trichter fallen zu lassen, da durch größere Fallgeschwindigkeit das Anhaften der feinsten Körnchen verhindert wird. Auf diese Weise fällt natürlich auch immer etwas Glimmer mit durch den Trichter.

b) Auslesen unter der Lupe oder unter dem Mikroskope mit der Hand. Hin und wieder lassen sich aus dem separierten, größtenteils homogenen Pulver Verunreinigungen nur durch Auslesen unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung entfernen. Man verteilt das Pulver portionenweise recht gleichmäßig auf einem Objektträger und tupft mit einer feinen, angefeuchteten Präpariernadel oder einer Pinzette die vereinzelten fremden Körnchen heraus. Man kann auch die Nadelspitze mit einem Klebstoffe (Gummi, Glyzerin, Kanadabalsam) versehen. Sobald die Nadelspitze ringsum mit angeklebten Körnchen bedeckt ist, hält man sie einen Augenblick in ein Schälchen mit Wasser bezw. Benzol, in welchem nach Auflösung des Klebstoffes die ausgelesenen Körnchen zu Boden sinken[3]).

Fig. 284.



Auslesevorrichtung von W. und H. Seibert in Wetzlar.

Gute Dienste leisten die Lupenstative, wie sie z. B. von W. u. H. Seibert, Wetzlar und R. Fueß, Steglitz bei Berlin in den Handel gebracht werden. Das Seibertsche (Fig. 284) besitzt einen 1 cm breiten

1) Neues Jahrb. f. Min., 1880. II. S. 207.

2) Abh. z. geol. Spezialkarte von Elsaß-Lothringen. III. 1. S. 41—42. Straßburg 1884.

3) Zirkel. Lehrb. d. Petrogr., 2. Aufl. Leipzig 1893. Bd. 1, S. 107.

verschiebbaren Glasstreifen (*G*). Auf diesem Glasstreifen kann man mit einer seitwärts angebrachten Streuvorrichtung (*S*) das Pulver ausbreiten. Die Lupe gestattet gerade das Übersehen der Breite des Streifens. Das Stativ ist mit einer Polarisationsvorrichtung versehen (Polarisator *N*, Analysator *A* ist auf die Lupe aufsetzbar). Man kann dies Stativ auch zum Durchmustern größerer Schliffe, bei der Vergleichung mehrerer Präparate nebeneinander, wie bei vielen anderen Arbeiten benutzen.

Rosenbusch[1]) empfiehlt für das Aussuchen die Benutzung eines dickeren Glasstreifens, in welchen man longitudinal eine Rinne eingeschliffen hat, oder auf welchem man diese Rinne dadurch herstellt, daß man zwei keilförmig zugeschliffene Glasstreifen mit den einander zugewandten Schneiden aufklebt. Das Pulver wird in diese Rinne so eingetragen, daß die Körnchen einander nicht zu nahe liegen. Man schiebt die Glasplatte unter dem Mikroskop langsam vorbei, und sobald eines der gesuchten Körnchen im Gesichtsfeld ist, hebt man es mit einem dünnen Wachsfaden oder einem Schwefelhölzchen, dessen fein zugespitztes Ende man ein wenig befeuchtet hat, heraus. Thoulet saugt die Körnchen durch ein Glasröhrchen an, welches mit einem System von zwei, Spritzflaschen ähnlich gebauten, untereinander durch Glasröhren und Kautschukschläuche verbundenen Gläschen beweglich befestigt ist. Man saugt die Luft aus dem letzten Gefäß, während die Spitze das Körnchen berührt; letzteres fällt in das erste Gefäß. Einfacher ist die Benutzung eines kleinen Glasröhrchens, das mit einem kleinen Kautschukballon versehen ist (Pipette); es ist namentlich empfehlenswert, wenn man die Körner angefeuchtet hat. Die Spitze der Pipette muß dann mit Wasser gefüllt bleiben.

Man kann feine lamellare Mineralien auch abtrennen, wenn man das Mineralpulver in Wasser aufwirbelt. Die lamellaren Mineralien sinken langsamer zu Boden wie die allseitig gerundeten Körner. Durch rasches Abgießen der Flüssigkeit mit den noch schwebenden Täfelchen können diese mehr oder weniger genau von den anderen Mineralien getrennt werden.

Kapitel 70.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes.

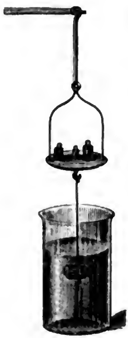
Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes, d. h. der Zahl, welche angibt, wievielmal der Körper schwerer ist, als ein gleiches Volumen Wasser von 4°, benutzt man eine Reihe von Methoden, von denen die zu besprechende Schwebe-(Suspensions-)Methode die meiste Anwendung bei mineralogisch

[1]) Rosenbusch, Mikrosk. Physiogr. d. Min., 3. Aufl. S. 253.

petrographischen Arbeiten findet, da ihre Fehlerquellen hier nicht ins Gewicht fallen.

A. Die hydrostatische Wage (Fig. 285[1]) unterscheidet sich von der gewöhnlichen Wage dadurch, daß die eine kürzer aufgehängte Wagschale unten mit einem Häkchen versehen ist, um den zu untersuchenden Gegenstand mit einem sehr feinen Draht anhängen und so in ein unterzustellendes Gefäß tauchen lassen zu können. Man bestimmt das Gewicht des zu untersuchenden Gegenstandes in Luft (*a*), sowie den beim Eintauchen in Wasser eintretenden scheinbaren Gewichtsverlust (*b*) (= dem Gewicht der verdrängten Wassermasse). Dann ist das spezifische Gewicht $s = \frac{a}{b}$. Die Methode ist nur genau, wenn größere Gewichtsmengen zur Verfügung stehen. Bei petrographischen Arbeiten wird man aber häufig nur sehr geringe Mengen zur Verfügung haben und deshalb besser eine der anderen Methoden benutzen.

Fig. 285.



Penfield[2]) empfiehlt zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Mineralpulvern die Anwendung kleiner, einseitig geschlossener Glasrohre (8 mm Durchmesser, 35 mm Länge), die an einem leichten Platindraht aufgehängt sind. Das Röhrchen wird, mit Wasser gefüllt, in einem größeren Gefäß mit Wasser gewogen und nochmals nach Entfernen des Minerals, dessen Gewicht nach dem Trocknen bestimmt wird.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von in Wasser löslichen Mineralien empfiehlt es sich, die Bestimmung in Petroleum[3]) oder in einer anderen Flüssigkeit vorzunehmen, in der der betreffende Körper unlöslich ist, und deren spezifisches Gewicht bekannt ist. Zur Bestimmung kann sowohl die hydrostatische Wage wie das Pyknometer benutzt werden. Man hat dann nur die so gefundene Zahl mit dem spezifischen Gewichte der betreffenden Flüssigkeit zu multiplizieren, um das auf Wasser bezogene spezifische Gewicht des Körpers zu erhalten. Sind nämlich π, π', π'' die Gewichte gleicher Volumina von dem Körper, vom Wasser und von der zweiten Flüssigkeit, so ist $\pi : \pi' = (\pi : \pi'') \cdot (\pi'' : \pi')$, d. h. das spezifische Gewicht des Körpers in Bezug auf Wasser ist gleich dem in Bezug auf die zweite Flüssigkeit ermittelten spezifischen Gewichte, multi-

[1]) Eine neue hydrostatische Wage wird von Toula beschrieben: Tschermaks min. u. petr. Mitt. 1907, **26**, 233–237.

[2]) Amer. Journal of science, 1895. (3). **50**. S. 448. — Zeitschr. f. Kristallogr., 1896. **26**. 136.

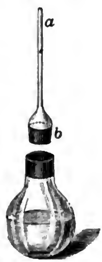
[3]) Vgl. Przibylla, Zentralbl. f. Min., 1904. 234.

pliziert mit dem spezifischen Gewichte dieser Flüssigkeit in Bezug auf Wasser.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes dieser Flüssigkeit in Bezug auf Wasser erfolgt mit der Westphalschen Wage, durch Pyknometerbeobachtungen oder vermittels Indikatoren. Die Kristalle werden in der betreffenden Flüssigkeit selbst am besten an der hydrostatischen Wage mit Platindraht, auch mit feinem verzinnten Kupferdraht aufgehängt.

Stark Wasser anziehende (hygroskopische) Salze werden möglichst in frischen Spaltstücken benutzt. Es wird zunächst ein kleines Wägegläschen teilweise mit der betreffenden Flüssigkeit, in der die Substanz unlöslich ist, gefüllt und auf der Wagschale der hydrostatischen Wage (Fig. 285) gewogen. Das Salz wird dann in das Gläschen gebracht und der Gewichtszuwachs auf derselben Wagschale festgestellt (= Gewicht der Substanz *a*). Die anzuwendende hydrostatische Wage muß ein unten angehängtes Körbchen besitzen, das in Petroleum eingetaucht werden kann. Die in das Körbchen eingebrachte Substanz zeigt dann im Petroleum die scheinbare Gewichtsverminderung (*b*). Die Haut von Petroleum verhindert beim Übertragen aus dem Wägegläschen in das Körbchen eine Wasseranziehung.

Fig. 286.



B. Das Pyknometer (Fig. 286) wird bei petrographischen Arbeiten häufigere Anwendung sowohl bei groben Stücken, wie bei feineren Pulvern finden, wonach eine verschiedene Form zu wählen ist. Ein kleines Fläschchen ist mittels eines Stöpsels *b* mit ansitzender Kapillare fest verschließbar, an welcher sich eine Marke (*a*) befindet, bis zu der das Gefäß nach dem Verschlusse mit Wasser gefüllt sein muß. Überschießendes Wasser wird mit Fließpapier abgetupft. Das gefüllte Pyknometer wird gewogen (P). Man bringt nun den zu untersuchenden Körper vom absoluten Gewichte p hinein. Man schließt den Pyknometer, tupft wieder bis zu der Marke ab und wiegt von neuem (P_1). Ist π das Gewicht der verdrängten Wassermenge, so ist $P_1 = P + p - \pi$, also $\pi = P + p - P_1$, also das spezifische Gewicht der Substanz

$$s = \frac{p}{\pi} = \frac{p}{P + p - P_1}$$

Das Pulver darf keine Luft eingeschlossen enthalten.

Will man die Resultate gleich auf 0° beziehen, so muß man das Abtupfen jedesmal nur dann vornehmen, wenn man das Pyknometer bis auf 0° (in schmelzendem Eise) abgekühlt hat. Überhaupt sind genaue Temperaturbeobachtungen notwendig und namentlich ist zu vermeiden, daß das Pykno-

metergläschen bei der Operation erheblich in der Temperatur schwankt. Diese Methode hat den Vorteil, daß man sehr kleine Stücke und pulverförmige, aber nicht zu feinkörnige Substanzen (Bodenproben u. a.) von jedem spezifischen Gewichte untersuchen kann, und den Nachteil, daß es schwierig ist, bei beiden Füllungen den Glaspfropfen in derselben Weise einzusetzen. Da beim Einsetzen des Stopfens oft ein Teil namentlich von feinkörnigem Pulver herausgepreßt wird, setzt man das Pyknometer am besten auf eine kleine Schale und schließt dann erst. Die herausgepreßte Substanz kann dann nach dem Verdampfen des Wassers gewogen und so das Gewicht der im Pyknometer befindlichen Substanz korrigiert werden[1]).

C. Das Aräometer hat für mineralogisch-petrographische Untersuchungen keine besondere Bedeutung mehr und ist nur in speziellen Fällen anwendbar. Die Methode ist in den meisten Lehrbüchern der Physik beschrieben.

D. Schwebe- (Suspensions-) Methode. Diese bietet genaue Resultate, läßt sich aber nicht für alle verschiedenen spezifischen Gewichte anwenden. Zur Verwendung kommen die in ihren Eigenschaften auf S. 572—578 schon beschriebenen schweren Lösungen, von denen namentlich die folgenden empfehlenswert sind:

	Zu verdünnen mit	Höchstes spezifisches Gewicht
Bromoform	Benzol	2,9
Acetylentetrabromid	Äther oder Benzol	3,0
Kaliumquecksilberjodid (Thouletsche Lösung)	verdünnte Lösung oder Wasser	3,2
Methylenjodid	Äther oder Benzol	3,32

Die übrigen zur Isolierung vorgeschlagenen schweren Lösungen und die schweren Schmelzen kommen nicht in Betracht. Welche der angegebenen Lösungen zu verwenden ist, hängt von den speziellen Verhältnissen ab. Bei der Bestimmung der spezifischen Gewichte von Salzen sind die Löslichkeitsverhältnisse für die Wahl der Lösung entscheidend.

Spezielle Anweisungen, wie man bei der Bestimmung zu verfahren habe, sind verschiedentlich gegeben worden[2]). Am einfachsten verfährt man

[1]) Besondere Winke über die Benutzung des Pyknometers bei Hillebrand, Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 176. S. 29—31, Nr. 305. 42—45, oder Hillebrand-Zschimmer, Praktische Anleitung zur Analyse der Silikatgesteine. Leipzig 1899. S. 21—22. — Wiedemann u. Ebert, Physikalisches Praktikum. 5. Aufl. Braunschweig 1904. S. 58 u. f.

[2]) Retgers, Zeitschr. f. phys. Chemie. 1889. 3. 289. — Groth, Einleitung in die chemische Kristallographie. Leipzig 1904. S. 31.

folgendermaßen: Man wirft das zu untersuchende Mineral[1]) in eine Flüssigkeit von höherem spezifischem Gewichte, so daß also das Mineral an der Oberfläche schwimmt. Man erniedrigt sodann ganz allmählich das spezifische Gewicht der Lösung, indem man tropfenweise die Verdünnungsflüssigkeit zufügt. Durch kräftiges Schütteln bringt man beide zur Mischung. (Deshalb verwendet man am besten kleine Standgefäße von ungefähr 10—15 cm Höhe, die durch einen Korken verschließbar sind [vgl. S. 593]). Das spezifische Gewicht der Lösung läßt sich nachher auch in ihnen bequem bestimmen.) Durch langsames Zufügen leichterer Flüssigkeit erreicht man es, daß der Körper zum Schweben kommt und in jedem Niveau im Schweben bleibt. Die Annäherung der spezifischen Gewichte von Lösung und Mineral zeigt sich dadurch an, daß sich das Mineral auf die „hohe Kante" stellt. Hat man zu stark verdünnt, so wird man umgekehrt durch tropfenweises Zusetzen schwererer Flüssigkeit das Gleichgewicht herzustellen suchen. Ein Schweben läßt sich zumeist nur auf ganz kurze Zeit erreichen, da sich das spezifische Gewicht der Lösung unter dem Einflusse der Verdunstung und namentlich der Temperatur fortgesetzt verändert. Man muß schon vorsichtig im Anfassen des Gefäßes sein und namentlich die Erwärmung durch die Hand vermeiden.

Man hat nun noch das spezifische Gewicht der Flüssigkeit festzustellen, wozu man die schon früher S. 593 ff. behandelten Methoden verwendet. Bei der Anwendung der Westphalschen Wage ist namentlich, wenn man mit Benzol oder Äther verdünntes Jodmethylen benutzt, rasches Arbeiten geboten, damit sich durch Verdunstung nicht das spezifische Gewicht der Lösung ändert. Die Bestimmung in dem Standgefäß ist am bequemsten unter Anwendung des von Linck vorgeschlagenen Hilfsapparates (vgl. S. 597, Fig. 277). Bei der Anwendung von Indikatoren wird man nicht so genaue Resultate erhalten. Man muß Indikatoren nehmen, deren Intervalle möglichst gering sind. — Hat man weder Westphalsche Wage noch Indikatoren zur Verfügung, so greift man zu folgender, von Hussak vorgeschlagenen Methode[2]): Man gießt die Lösung in ein genau kalibriertes und gewogenes Glasgefäß, und füllt dieses genau bis zu einer Marke, wobei man am besten auf den unteren Teil des Flüssigkeitsmeniscus einstellt. Die überflüssige Lösung wird mittels einer Kapillarpipette oder mit Filtrierpapier entfernt. Man wiegt dann das gefüllte Kölbchen, gießt

[1]) Man muß sich möglichst reine Splitter aussuchen, die frei von Einschlüssen sind. Von ihrem Einfluß kann man sich leicht überzeugen, wenn man ein Einschlüsse haltendes Mineral grob pulvert und größere Mengen des Pulvers nach obiger Methode behandelt. Man erhält dann zu gleicher Zeit zu Boden gesunkene, schwebende und an der Oberfläche schwimmende Teile.

[2]) Anleitung zum Bestimmen der gesteinsbildenden Mineralien. Leipzig 1885. S. 52.

die Lösung wieder in das zur Trennung benutzte Gefäß und beobachtet, ob das Mineralkörnchen noch schwebt, gießt dann wieder in das Glasgefäß bis zur Marke, wiegt abermals und verfährt in gleicher Weise zum dritten Male. Aus diesen drei Wägungen wird dann das Mittel gezogen. Aus diesem

Fig. 287.

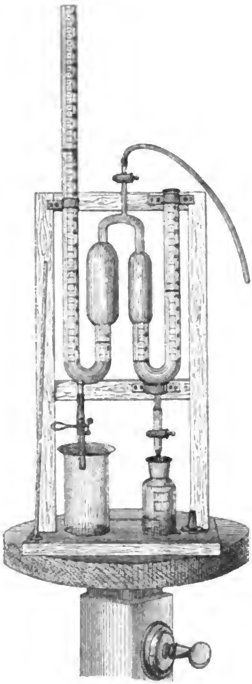
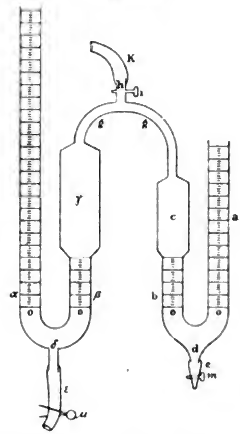


Fig. 288.



Mittel und dem Gewicht des leeren Gefäßes erhält man das Gewicht der Flüssigkeit. Dieses Gewicht, geteilt durch den Inhalt, ist das gesuchte spezifische Gewicht der Lösung.

E. W. Salomon[1]) hat einen zur Messung der Dichte von Flüssig-

[1]) W. Salomon, Ein neuer Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes von Flüssigkeiten. Neues Jahrb. f. Min., 1891. II. S. 214—220.

keiten und also auch von darin schwebenden starren Körpern, sowie zur mechanischen Trennung gemengter Pulver bestimmten Apparat (Fig. 287 bis 288) beschrieben, welcher auf dem Prinzipe beruht, daß die Höhen von Flüssigkeiten, die sich in kommunizierenden Röhren das Gleichgewicht halten, ihren Dichten umgekehrt proportional sind. Die Konstruktion des Apparates ergibt sich aus Figur 288. Das zum Teil kalibrierte Röhrensystem $\alpha - a$ ist in solchen Dimensionen gehalten, daß die weiteren Teile γ und c den gesamten Inhalt von α und β, bezw. a und b aufnehmen können. d und e sind ineinander eingeschliffene, sich verengende Glasröhren, ε und k Kautschukschläuche, μ ein Quetschhahn, m und i Glashähne. Der ganze Apparat wird vermittels einer Wasserwage auf dem Holzteller horizontal aufgestellt. Zunächst muß man nun den Unterschied im Nullpunkte der Skalen in den Röhrenschenkeln a, b, α, β ein für allemal bestimmen; das geschieht, indem man bei Offenstellung des Hahnes i in a und α so viel Wasser eingießt, daß es in β und b fast bis zum Skalenende reicht. Nun liest man die Lage der im Niveau befindlichen Menisken in α, β, a und b ab und wiederholt diese Ablesung mehrmals nach jeweiligem Ablassen kleiner Wassermengen durch m und μ, um schließlich aus den gefundenen Werten das Mittel zu nehmen. Soll dann der (natürlich getrocknete) Apparat gebraucht werden, so schließt man den Hahn i, füllt die ihrer Dichte nach zu bestimmende Flüssigkeit in a und destilliertes Wasser in α. Werden dann die Menisken in α, a, b und β abgelesen, so halten sich die Flüssigkeiten $a - b$ und $\alpha - \beta$ das Gleichgewicht und man hat

$$\frac{a - b}{\alpha - \beta} = \frac{1}{d} \qquad \text{also:} \quad d = \frac{\alpha - \beta}{a - b},$$

wobei dann noch die Korrekturen für die Verschiedenheiten des Nullpunktes berücksichtigt werden müssen. Um tunlichst genaue Werte zu bekommen, werden die Größen $\alpha - \beta$ und $a - b$ mehrmals bestimmt, was durch Ablassen der Flüssigkeit durch m, des Wassers durch ε, der Luft durch i leicht erreicht wird. Die Zuverlässigkeit der gefundenen Werte wächst dann mit dem Werte $a - b$ und nimmt mit diesem in empfindlicher Weise ab.

Soll nacheinander die Dichte verschieden schwerer Mineralkörner, welche nacheinander zum Schweben in der Scheideflüssigkeit gebracht werden, bestimmt werden, so muß diese durch Zusatz von Wasser in die Röhre a jeweils entsprechend verdünnt werden. Die Mischung des Wassers mit der Flüssigkeit bewirkt Salomon in der Röhre a durch Heben und Senken eines Glasstabes mit scheibenförmigem Knopfe am unteren Ende, in b durch vorsichtiges Einblasen von Luft durch i. Daß die Mischung in dem zapfenförmigen Raume bei d nicht stattfinden kann, soll insofern nicht schaden, als dieser symmetrisch zu a und b liegt und also gleichmäßige

Diffusion nach beiden Seiten hin stattfinde; bei Anwendung Thouletscher Lösung könne dieser Raum überdies mit Quecksilber gefüllt werden. Nach jeder Einstellung läßt man durch *i* so viel Luft entweichen, daß der Meniskus in *b* sich innerhalb der Skala befindet. Die Benutzung des Apparates oder vielmehr des Röhrensystems *a* und *b* als Scheidetrichter ergibt sich von selbst. Aus der Ablesung der Werte $a - b$ und $\alpha - \beta$ bei dem Niederfallen jeder Pulverfraktion hat man sofort deren Eigenschwere. Den Apparat liefert der Glasbläser Götze in Leipzig, Liebigstraße, Ecke der Nürnberger Straße, zum Preise von 22 Mark.

Für die meisten petrographischen Untersuchungen ist aber wohl die einfache Schwebemethode diesem Apparate vorzuziehen.

F. Anwendbarkeit der Schwebemethode. Verschiedene Methoden sind angegeben worden, um die Schwebemethode auch für Mineralien anwendbar zu machen, die ein höheres spezifisches Gewicht haben, wie die benutzte Flüssigkeit[1]). Es gelingt am besten durch Anwendung der Schwimmer.

Thoulet empfahl als Schwimmer ein kleines Wachskügelchen, in dem ein Mineralkörnchen eingeknetet ist (absolutes Gewicht beider zusammen $= g_1$, spezifisches $= d_1$). An dieses klebt man das oder die Körner[2]), deren spezifisches Gewicht *d* gemessen werden soll, vom absoluten Gewicht *g*. Man bringt das Wachskügelchen mit den angeklebten Körnern in die Flüssigkeit und bestimmt das spezifische Gewicht *D*. Es ist dann das Volumen des beschwerten Wachskorns $v_1 = g_1 : d_1$ bekannt. Das Volumen des Minerals ist $v = g : d$. Das Volumen des ganzen Systems ist $v + v_1 = (g + g_1) : D$. Daraus ergibt sich:

Fig. 289.



$$\frac{g}{d} + \frac{g_1}{d_1} = (g + g_1) : D.$$

$$d = \frac{g\,D}{g + g_1 - D v_1}.$$

Besser ist der Vorschlag von Streng[3]), der einen kleinen Glasbecher (Fig. 289) mit Platinfüßchen (5—6 mm Höhe, äußerer oberer Durchmesser 5 mm) vorschlug, dessen Schwerpunkt möglichst tief liegt, so daß der Becher immer aufrecht schwimmt. Die Methode hat, wie Retgers hervorhebt, zwei Fehler: Das absolute Gewicht des

[1]) Vgl. die Zusammenstellung bei Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., I. 1. 1904 (4. Aufl.), S. 46—48.

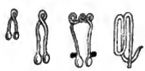
[2]) J. Joly (Phil. Mag. 1888 [5] XXVI. 29) legt die Mineralstückchen auf eine kleine, vorher gewogene Paraffinscheibe von bekanntem spez. Gew. und schmilzt diese vorsichtig. Man soll auf diese Weise auch poröse Substanzen ihrer Dichte nach bestimmen können, da das schmelzende Paraffin die Poren füllt.

[3]) A. Streng, XXV. Ber. d. Oberh. Ges. f. Natur- u. Heilkde. 1887. 110—113.

Schwimmers ist zu groß und die Flüssigkeit im Becher hat ein abweichendes spezifisches Gewicht gegenüber der umgebenden Lösung.

Viel zweckmäßiger sind die von Retgers[1]) angegebenen Schwimmer (Fig. 290). Man biegt ganz dünne Glasfäden resp. Glasdraht derartig um, daß die Mineralstücke von den Armen des Schwimmers wie von einer elastischen Klammer gehalten werden können. Man stellt sich eine größere Zahl derselben in den verschiedensten Formen, namentlich mit verschiedenem Abstand der beiden Arme her, was innerhalb kürzester Zeit geschehen ist, und hebt sie in einem schwarz ausgeschlagenen Pappkasten auf. Das Gewicht der Klammern soll von etwa 5 oder 10 mg bis 200 oder 250 mg schwanken. Das spezifische Gewicht des Glases ist ein für allemal festzustellen. Schon Retgers hat darauf aufmerksam gemacht, daß es außerordentlich wichtig ist, auf das Verhältnis der Gewichte von Mineral und Schwimmer zu achten. Beide müssen möglichst groß gewählt werden, dabei muß der Schwimmer so klein gewählt werden, wie es die benutzte Flüssigkeit gerade zuläßt.

Fig. 290.



Besondere Fälle: Wenn es sich um poröse Körper, z. B. um Kreide handelt, kann man das spezifische Gewicht von zwei Gesichtspunkten aus betrachten; einmal kann man das spezifische Gewicht des Körpers mit Einschluß der Poren und dann das spezifische Gewicht des Körpers allein ermitteln wollen. Zur Bestimmung des ersteren bestreicht man den Körper mit einer sehr dünnen Schicht von Wachs oder Firniß und verfährt im übrigen nach einer der genannten Methoden. Die zweite Dichte erhält man durch Untersuchung des Körpers in Pulverform[2]).

Mit Ausnahme der schweren Flüssigkeiten, der zur Auflösung etc. dienenden Säuren und der natürlichen Salzlösungen wird der Geologe selten in die Lage kommen, das spezifische Gewicht von Flüssigkeiten zu ermitteln. Für die ersteren bedient man sich, wie erwähnt, der Westphalschen Wage, für die letzteren dagegen zweckmäßigerweise eines der Aräometer, die für Flüssigkeiten, welche dichter als Wasser sind, vielfach konstruiert sind, beispielsweise des Baumé schen. Es besteht aus einem allseitig verschlossenen Glasgefäß, dessen oberer Teil von einer

---

1) Retgers, Zeitschr. f. phys. Chemie, 1889. 4. 190—196. — Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., 4. Aufl., I. 1. 1904. S. 47.

2) Man kann die beiden Dichten mit genügender Annäherung auch in der folgenden Weise bestimmen. Das Gewicht des Körpers sei π. Man läßt ihn nun sich vollkommen voll Wasser saugen und wägt ihn von neuem; es sei $\pi + p$ das jetzt ermittelte Gewicht. Mit dem derart von Flüssigkeit durchtränkten Körper bestimmt man nun das Gewicht π' eines gleichen Volumens Wasser. Die auf das äußere Volumen bezogene Dichte ist dann $\frac{\pi}{\pi'}$ und die Dichtigkeit der Substanz $\frac{\pi}{\pi' - p}$. Buignet findet so für Kreide: scheinbare Dichte 1,600; wahre Dichte 2,551.

zylindrischen, mit äquidistanter Teilung versehenen Spindel gebildet wird. Die Teilung wurde von Baumé in ganz willkürlicher Weise, wie folgt, hergestellt. Nachdem das Instrument genügend beschwert war, so daß es bei 10° R. (12,5° C.) in reinem Wasser bis an einen Punkt nahe an dem oberen Spindelende eintauchte, bezeichnete er diesen Punkt mit Null. Die Stelle, bis zu welcher das Aräometer in einer Lösung von 15 Teilen Seesalz in 85 Teilen Wasser einsank, wurde mit 15 bezeichnet. Der Zwischenraum von 0—15 ward in 15 gleiche Teile geteilt und die Teilung bis zum unteren Ende der Spindel fortgesetzt (für Säuremesser muß die Teilung etwa bis zum Teilstrich 70 reichen). Mit Hilfe eines solchen Apparates kann man sofort sehen, ob eine Säure die gewünschte Dichte hat. Das Aräometer von Baumé sinkt nämlich ein bis zum

Teilstrich 66 in konzentrierter Schwefelsäure,
„ 36 in der Salpetersäure des Handels,
„ 22 in käuflicher Salzsäure.

Bei der Graduierung nehmen die Verfertiger solcher Aräometer als feste Punkte meist die Eintauchtiefe in reinem Wasser (Teilstrich 0) und diejenige in der konzentrierten Schwefelsäure des Handels (Teilstrich 66).

Eine Methode zur Bestimmung des spezifischen Gewichts gepulverter Substanzen gibt W. F. Smeeth[1]) an.

In einem kleinen Glasgefäße, z. B. einem Uhrglase, wird eine kleine Menge von Vaselin zur Entfernung von Luftblasen erwärmt; das Gewicht des Uhrglases einschließlich des Vaselins, in Wasser gewogen, sei w_1; dann erwärmt man das Vaselin wieder und bringt eine abgewogene Menge (W) des Pulvers hinein, welches in das weiche Vaselin hineinsinkt. Sei das Gewicht des Ganzen, wieder in Wasser gewogen, w_2, so ist das spezifische Gewicht des Pulvers $= \frac{W}{W - (w_2 - w_1)}$, und zwar ganz unabhängig vom spezifischen Gewicht des Vaselins.

G. Tabelle der wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien, geordnet nach dem spezifischen Gewichte, mit Angabe der schweren Lösungen und Schmelzen, die zur Trennung verwendbar sind. Die folgende Tabelle soll einen Überblick über die spezifischen Gewichte geben, die zunächst in Betracht kommen. Die speziellen Werte können allerdings nur Durchschnittswerte sein und im besonderen Falle, namentlich bei Benutzung einschlußreicher oder nicht frischer Mineralien, sich als ziemlich ungenau erweisen. Die Angabe der schweren Lösungen und Schmelzen bezieht sich immer auf das unter gewöhnlichen Verhältnissen erreichbare maximale Gewicht. Die den schweren Lösungen bezw. Schmelzen in Klammern ( ) beigefügten Ziffern beziehen sich auf die Seiten dieses Buches, wo die betreffenden Lösungen genauer besprochen sind. Bei der Zusammenstellung dieser Tabelle wurden die ähnlichen Tabellen von Websky, Rosenbusch-Wülfing und Weinschenk benutzt.

In eckigen Klammern [ ] sind die äußersten Werte der Mineralien beigefügt, die in ihrem spezifischen Gewichte besonderer Umstände wegen

[1]) Proceedings of the Royal Dublin Society 1888. 6. S. 61.

stark schwanken. Der mittlere Wert, der häufiger zur Beobachtung gelangt, ist dann für die Einordnung maßgebend gewesen.

Zinnstein	6,84
Eisenglanz	5,38
Schmelze von Thalliumnitrat (S. 579)	*5,3*
Schmelze von Thalliummerkuronitrat (S. 580)	*5,3*
Magnetit	5,20
Monazit	5.16
Eisenkies	5,10
Pseudobrookit	5,0
Schmelze von Chlorblei (S. 580) [verdünnbar durch Chlorzink bis zum spez. Gew. 2,4]	*5,0*
Schmelze von Jodsilber und Silbernitrat (S. 579)	*5,0*
Ilmenit	5,2—4,75
Schmelze von Silbernitrat und Thalliumnitrat	
im Verhältnis 1:4 (S. 579)	*4,85*
„ „ 3:4 (S. 579)	*4,68*
„ „ 1:1 (S. 579)	*4,5*
Magnetkies	4,62
Hussakit	4.58
Xenotim	4,52
Schwerspat	4,5
Chromit	4,46
Zirkon	4,45
Almandin	4,3
[Granat 4,3—3,15]	
Schmelze von Merkuronitrat (S. 579)	*4,3*
Rutil	4,25
Melanit	4,3—4,15
Chromspinell	4,1
Topazolith	4,1
Schmelze von Silbernitrat (S. 579)	*4,1*
Picotit	4,08
Perowskit	4,06
Liëvrit	3,96
Korund	3,95
Eisenspat	3,94
Hercynit	3,94
Brookit	3,88
Anatas	3,87
Orthit	3,85
Pleonast	3,82
Pyrop	3,75
Ainigmatit	3,75
Staurolith	3,74
Periklas	3,7
Thouletsche, Rohrbachsche Lösung und Jodmethylen können durch Eintragen von Jod gebracht werden (S. 576) auf	*3,6*
Jodmethylen kann durch Eintragen von Jodoform gebracht werden (S. 576) auf	*3,6*
Spinell	3,6
Disthen	3,6
Rohrbachsche Lösung (Baryumquecksilberjodid) (S. 577)	*3,59*
Topas [3,4—3,6]	3,56
Chloritoid	3,54
Ägirin	3,53
Grossular	3,50
Akmit	3,49
Titanit	3,48
Arfvedsonit	3,45
Hypersthen	3,45
Olivin [3,3—3,6]	3,41
Titanaugit	3,41
Vesuvian	3,40
Diaspor	3,40
Epidot	3,39
Augit [3,2—3,6]	3,36
Kleinsche Lösung (Borowolframsaures Kadmium (S. 576)	*3,36*
Zoisit	3,35
Jadeit	3,34
Methylenjodid (S. 575)	*3,32*
Diopsid	3,30
Bronzit [3,1—3,5]	3,29
Diallag	3,27
Forsterit	3,26
Sillimanit	3,23
Hornblende [2,9—3,3]	3,22
Andalusit	3,20
Thouletsche Lösung (Kaliumquecksilberjodid) (S. 573)	*3,2*
Fluorit	3,18
Apatit	3.16
Humit	3,15
Turmalin [2,94—3,24]	3,12
Glaukophan	3,10

Biotit [2,8—3,2]	3,01
Acetylentetrabromid (S. 573)	*3,0*
Gehlenit	3,00
Strahlstein	3,00
Fassait	2,97
Datolith	2,95
Anhydrit	2,95
Aragonit	2,94
Melilith	2,93
Dolomit	2,90
Prehnit	2,90
Bromoform (S. 572)	*2,9*
Wollastonit	2,86
Muscovit	2,85
Chlorit [2,6—2,9]	2,78
Anorthit	2,76—2,74
Talk	2,74
Meionit	2,73
Bytownit	2,74—2,71
Beryll	2,72
Calcit	2,72
Klinochlor	2,71
Labradorit	2,71—2,69
Bastit	2,70
Andesin	2,69—2,67
Oligoklas	2,66—2,64
Quarz	2,65
Cordierit	2,64
Albit	2,64—2,62
Eläolith	2,60
Anorthoklas	2,58
Serpentin	2,57
Adular	2,57
Sanidin	2,56
Orthoklas	2,55
Mikroklin	2,55
Nephelin	2,55
Kaolin	2,5
Leucit	2,47
Hauyn	2,45
Hydrargillit	2,38
Gips	2,31
Tridymit	2,30
Graphit	2,3
Glaukonit	2,30
Sodalith	2,28
Opal	2,21
Natrolith	2,21
Heulandit	2,20
Phillipsit	2,20
Analcim	2,19
Chabasit	2,10

Kapitel 71.

Die Bestimmung der Härte der Mineralien.

Den Widerstand, den die einzelnen Teile eines festen Körpers dem Eindringen eines spitzen Gegenstandes entgegensetzen, nennt man die Härte. Um den Härtegrad eines Körpers in allgemein verständlicher Weise auszudrücken, stellte M o h s eine sogenannte Härteskala auf, die aus einer Reihe von nach praktischen Gesichtspunkten ausgewählten Mineralien besteht, von denen jedes folgende härter ist, als das vorhergehende. Diese zehnteilige Härteskala umfaßt folgende Mineralien:

1. Talk, mit dem Fingernagel ritzbar;
2. Steinsalz oder blätteriger Gips, von denen ersteres bereits die Härte des Fingernagels hat, während letzterer noch deutlich mit ihm geritzt werden kann;
3. Kalkspat, der sich mit dem Messer noch sehr leicht ritzen läßt;
4. Flußspat, der bei ordentlichem Druck vom Messer noch kräftig angegriffen wird;

5. Apatit, läßt sich mit dem Messer schwer, aber mit einer guten Feile noch bearbeiten;
6. Feldspat, gibt bereits mit dem Stahl Funken, ritzt das Fensterglas;
7. Quarz;
8. Topas;
9. Korund;
10. Diamant.

Um die Härte eines Minerals in bestimmter Weise nach der Skala zu bezeichnen, wird das Glied aufgesucht, dessen Härte dem des zu untersuchenden Minerals am nächsten kommt. Stimmt es darin genau mit einem Gliede der Skala überein, so bezeichnet man seine Härte einfach mit der Nummer desselben. Steht es aber zwischen zwei Gliedern in der Mitte, d. h. vermag es das weichere der beiden noch anzugreifen, während es von dem härteren angegriffen wird, so bezeichnet man seine Härte durch eine Verbindung beider Zahlen; beispielsweise 3—4. Es ist selbstverständlich, daß diese Zahlenangaben nur relative Werte darstellen. Wir werden im folgenden sehen, daß die Härteunterschiede zwischen den einzelnen Gliedern der Skala ganz unregelmäßig sind. Die Prüfung der Härte führt man in der Weise aus, daß man auf einer ebenen Fläche des zu untersuchenden Minerals mit einer scharfen Ecke eines der Glieder der Skala versucht, es zu ritzen. Gelingt es nicht, so nimmt man das nächsthärtere Glied der Skala u. s. w. Nach einiger Übung wird man es bei den niedrigen Härtegraden dahin bringen, durch einfache Benutzung eines Messers oder einer Feile bis auf etwa eine halbe Nummer die Härte auch ohne Benutzung der Skala zu bestimmen, und im Notfalle kann dem Geübten selbst die Prüfung eines Körnchens zwischen den Zähnen einen deutlichen Anhalt für die Beurteilung seiner Härte gewähren.

Für die rohen Bestimmungen im Felde muß der Geologe sich merken, daß die Mineralien bis zur Härte 2 (einschließlich Gips, ausschließlich Steinsalz) vom Fingernagel, bis zur Härte 3 von einer Kupfermünze, bis zur Härte 5 vom Fensterglas geritzt werden, daß harter Stahl die Härte 5 noch ritzt. Mineralien, die vor dem Stahle Funken geben, sind härter als 6.

Für die praktischen Bedürfnisse des Feldes und der Reise leisten die in Stiftform hergestellten Präparate der härteren Mineralien, in flachem, in der Tasche aufzubewahrendem Etui, der Firma Dr. Krantz in Bonn vortreffliche Dienste.

Hat man es mit kleinen Körnern oder einem gröberen Pulver zu tun, so verfährt man, nach Cohen, in der Weise, daß man das Pulver unter kräftigem Drucke in einen kleinen, eben geschliffenen Bleistempel, z. B. zugespitzte Bleistreifen von Bleirohrresten, einpreßt und nun mit ihm Ritzversuche auf ebenen Flächen von Mineralien bekannter Härte macht (vgl. S. 634, oben).

Um zu absoluten Zahlenwerten für die Härte der verschiedenen Mineralien bezw. der verschiedenen Flächen eines Kristalles und der verschiedenen Richtungen in einer Fläche zu gelangen, hat man verschiedene Apparate (Sklerometer) konstruiert, die in einzelnen Fällen besonderen Nutzen haben, aber für den Geologen nur bisweilen in Frage kommen. Es sei deshalb nur auf die Spezialliteratur verwiesen[1]). Aus diesen Untersuchungen ergibt sich, daß die Unterschiede der einzelnen Glieder der Mohsschen Skala außerordentlich ungleichmäßig sind. Die absoluten Werte, die für die Härte erlangt werden, sind verschieden, jedoch zeigt jede neue Zusammenstellung wieder andere Ungleichmäßigkeiten der nach rein äußerlichen Gesichtspunkten gewählten Skala. Es ergibt sich dies aus folgenden beiden Zusammenstellungen:

I. Nach Pfaff.

1. Speckstein	= 1	5. Apatit, Basisfläche {0001}	= 28
2. Gips, auf {010}	= 5	„ Prismenfläche {10$\bar{1}$0}	= 48
„ auf {100}	= 7,6	6. Adular, auf Fläche {001}	= 100
Steinsalz, Würfelfläche	= 7	„ „ „ {010}	= 109
3. Kalkspat, Basis {0001}	= 3	7. Quarz, auf Basisfläche {0001}	= 133
„ Rhomboederfläche	= 8	„ „ Prismenfläche {10$\bar{1}$0}	= 180
„ Prismenfläche {10$\bar{1}$0}	= 27	8. Topas, auf der Basisfläche {001}	= 240
4. Flußspat, Oktaederfläche	= 19,5	9. Korund, auf der deutlichsten Spaltungsfläche nach {10$\bar{1}$1}	= 340
„ Würfelfläche	= 20		

II. Nach Rosiwal.

1. Talk	1/33	5. Apatit	6 1/2	9. Korund	1000
2. Gips	1 1/4	6. Feldspat	37	10. Diamant	140000
3. Kalkspat	4 1/2	7. Quarz	120		
4. Flußspat	5	8. Topas	175		

Von der Härte ist die Politurfähigkeit der Mineralien abhängig. Wenn man nun dickere (0,15—0,2 mm für dunkle, 0,2—0,3 mm für helle Gesteine) Gesteinsplättchen schleift, so kann man aus der Reihenfolge, in der die Mineralien des Gesteins die Politur annehmen, gewisse Schlüsse ziehen. Die Politurfähigkeit eines Gesteins hängt von der der Gemengteile und dann von der Struktur des Gesteins ab.

[1]) Grailich und Pekárek, Sitzungsber. d. math.-naturw. Klasse der K. Akad. d. Wissensch. Wien 1854. **13**. 410—436. — Pfaff, Sitzungsber. d. math.-phys. Klasse d. K. bayr. Akad. d. Wissensch., 1883. **13**. 53—68. 372—400. 1884. **14**. 255—266. — Rosival, Verh. d. k. k. geol. Reichsanstalt. Wien 1896. 475—491. — Jaggar, Zeitschr. f. Kristallogr., 1898. **29**. 262—275. — Egon Müller, Über Härtebestimmung. Inaug.-Diss. Jena 1906 (dort auch weitere Literatur).

Nach dem Vorschlage von Behrens[1]) nimmt man für das Feinschleifen und teilweise Polieren eine Schleifplatte von Gußeisen, die einige Tage für gröbere Schleifarbeit gedient hat. Das Feinschleifen geschieht mit geschlämmten Schmirgel und so viel Wasser, daß ein dünner Rahm entsteht. Vor dem Polieren wird fast aller Schmirgel durch Abwischen entfernt, der letzte Rest wird mit Wasser und einem Stück Glas verrieben, und während des Polierens wird von Zeit zu Zeit reichlich Wasser zugefügt. Wenn Quarz zugegen ist, so zeigen sich alsbald scharf begrenzte glänzende Flecke. Die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Gemengteile Politur annehmen, ist durch ihre Härte bedingt, und fast ebensosehr durch ihre Zähigkeit und durch die Abwesenheit von Spaltungsrichtungen. Obenan stehen Spinell und Zirkon, nahe dabei Turmalin, welcher hierdurch leicht zu Anfang der Untersuchung aufgefunden und von Hornblende und Biotit unterschieden werden kann. Kurz danach wird der Quarz glänzend, ziemlich gleichzeitig mit Cordierit und Granat. Chalcedon und Jaspis zeigen sich nur wenig später, während es noch lange dauert, bis gemeiner Opal, Olivin, Rutil, Magnetit, Chromit, Hämatit und Pyrit glänzend werden. Die Durchschnitte von Granatkristallen sind meistens mit tiefen Spalten durchzogen; Olivin behält ein staubiges Ansehen; unter der Lupe erscheint er genarbt. Rutil, Magnetit u. s. w. zeigen metallischen Glanz, jedoch nicht in dem Maße, wie man es nach dem Ansehen von Kristallen erwarten möchte. In merklichem Abstand folgen die Pyroxene, der gemeine Augit durch unregelmäßige Sprünge und durch den rechteckigen oder achtseitigen Umriß der Querschnitte gekennzeichnet. Etwas später kommt Epidot zum Vorschein, und zuletzt Hornblende. Die Feldspäte nehmen auf Eisen nur geringen Glanz an; um sie zu polieren, muß man eine Zinkplatte und feines Glas- oder Bimssteinpulver nehmen. — Zu Beobachtungen während der Bearbeitung genügt in den meisten Fällen eine Lupe, welche achtfache Vergrößerung gibt; für weitere Untersuchung benutzt man schwächere Vergrößerungen (20—50fache) des Mikroskops und bringt dabei die Präparate in geneigter Lage auf den Objekttisch, so daß die polierten Stellen spiegeln. Die Anwendung der Beobachtungen des Reliefs (vgl. S. 674—675) kann in manchen Fällen die Beurteilung der Politurfähigkeit erleichtern.

Die ansehnliche Härte von Quarz und Turmalin kann man nach Behrens[2]) benutzen, um die beiden Mineralien zu untersuchen und namentlich auf ihre Härte zu prüfen. Man bringe zwei oder drei Körner auf den flachen Boden eines umgekehrten Achatmörsers und drücke

---

[1]) Anleitung zur mikrochemischen Analyse, 2. Aufl., S. 169. — Vgl. außerdem: A. Rosiwal, Über die Härte. Vortr. d. Vereins z. Verbr. naturw. Kenntnisse. Wien 1893. S. 605—650.

[2]) Mikrochemische Analyse, 1899. 2. Aufl., S. 178—179.

sie mit einem Stück feinfaserigem Holz (dem stumpfen Ende eines Bleistifts). Sie setzen sich darin so fest, daß man damit unter ziemlich starkem Druck auf glatten Scherben von Feldspat, Quarz oder Feuerstein reiben kann. Nachdem man zwei bis drei kurze Züge vor- und rückwärts gemacht hat, wischt man die Probescherben sorgfältig ab und sucht mit der Lupe nach parallelen Schrammen (vgl. auch die Anwendung von Bleistreifen, S. 631, unten).

Kapitel 72.

Der Strich.

Die Farbe des feinsten Pulvers, der sogenannte Strich der Mineralien leistet in vielen Fällen zu ihrer Erkennung gute Dienste. Zur Beobachtung wird man nur in seltenen Fällen das Mineralkorn völlig zertrümmern. Zumeist genügt die Erzeugung feinsten Pulvers durch Ritzen mit einem guten Stahlmesser oder durch Reiben auf einer Feile, einer Biskuittafel oder einer unglasierten Porzellanplatte (z. B. auf der Unterseite von Kochschalen). Die Strichfarbe weicht in vielen Fällen von der Eigenfarbe des Minerales erheblich ab. Oft genügt aber keine dieser Methoden, um das Mineral in ein so feines Pulver zu zerlegen, daß die Strichfarbe hervortritt. Schröder van der Kolk[1]) schlug deshalb vor, den auf einem Biskuittäfelchen erhaltenen Strich mittels eines zweiten Täfelchens einoder mehrmal auszureiben. Die Tafeln müssen möglichst frei von Verunreinigungen sein, weshalb sie von Zeit zu Zeit mit Säuren bezw. Alkalien ausgekocht werden müssen. Die zu untersuchenden Substanzen müssen möglichst homogen sein. Das von Schröder van der Kolk vorgeschlagene Verreiben ist besonders wichtig für die Mineralien, deren Strich im allgemeinen schwarz ist. Die von ihm gegebenen Daten sind in folgender Tabelle zusammengestellt. Als Vergleichsfarbe dient die Strichfarbe des Graphit, die als „rein grau“ bezeichnet wird.

Mineral	Hauptfarbe	Nebenfarbe[2])	Bemerkungen
		Elemente.	
Graphit	rein grau	braun	zweite Farbe nur bei Abwesenheit roter und brauner Farben in der Nähe erkennbar

[1]) Zentralbl. f. Min., 1901. 75—80. 519.

[2]) Als Nebenfarbe ist hier die angeführt, nach der der Strich des Minerals einen „Stich“ zeigt.

Mineral	Hauptfarbe	Nebenfarbe	Bemerkungen
Antimon	braunes Hellgrau	lila	mit Schwefel verrieben: gelbbraun
Arsen	deutlich braun	violetter Stich fehlt	mit Schwefel verrieben gelblich
Wismut	etwas brauner wie Graphit		
Tellur	rötlichviolettes Grau		Violett Verunreinigung?
Eisen	etwas bräunlicher wie Graphit		
Kupfer	schmutziggrau	grün	
Blei	gelblicher wie Graphit		
Silber	ähnlich Eisen		
Gold	hellviolett		Silber und Kupfer bewirken schmutziges, blaustichiges Grau
Platin	ähnlich Eisen		
	Sulfide, Arsenide etc.		
Eisenkies	hellbraun	schwach violett	Abweichungen durch Verunreinigungen
Markasit	ähnlich Pyrit		
Arsenkies	grau	schwach violett	auch bräunlich
Löllingit	grau		
Kobaltin	wie Pyrit	violettfrei	
Glaukodot	ähnlich Kobaltin		
Smaltin	„ „		
Gersdorffit	„ Graphit		
Ullmannit	„ „		
Chloanthit	„ „		
Rammelsbergit	„ „	bläulich	
Pyrrhotin	„ „		im Kontrast gegen Graphit violett
Domeykit	„ „		vor dem Ausreiben scheinbar hellbraun; wird beim Reiben dunkler
Bleiglanz	braun		
Clausthalit	lebhaft rotbraun	violett	
Kupferglanz	ziemlich rotfreies, schwärzliches Gelb		
Stromeyerit	ähnlich Chalkosin		
Berzelin	schwach bräunlichgrau		
Argentit	weniger gelb wie Chalkosin		
Millerit	grau		
Pentlandit	violett		violett wahrscheinl. durch Chalkopyritbeimengung
Nickelin	bläulichschwarz		
Sylvanit	grau	blau	

Mineral	Hauptfarbe	Nebenfarbe	Bemerkungen
Nagyagit	grau	deutlich braun	
Zinnober	schwarz in rot		
Tiemannit	ähnlich Berzelin		
Covellin	schön grün		
Molybdänglanz	schön grün		frischer wie Covellin
Antimonglanz	gelblichbraun		im Strich gut von Berthierit zu unterscheiden
Wismutglanz	mehr rötlichbraun wie Antimonglanz		

Sulfosalze.

Linneit	ähnlich Graphit		im Kontrast violett
Kupferkies	tief violett		im Gegensatz zu Pyrit sehr dunkel; lange reiben
Buntkupfererz	frische Bruchstelle: rein grau; bei Luftzutritt grün werdend angelaufene Rinde: grünlich		im Kontrast gegen Graphit bläulich
Miargyrit	gewöhnl. Strich farbig; beim Ausreiben ähnlich Pyrostilpnit		
Skleroklas	lebhaft rotbraun		
Zinkenit	ähnlich Pyrostilpnit		ähnlich gebrannter Umbra
Emplektit	nach längerem Reiben gelblich		
Berthierit	wenig lebhaftes, braunes Grau		
Plagionit	ähnlich gebrannter Umbra	karminrot	
Jamesonit	gelblichbraun		zwischen roher Siena und roher Umbra
Dufrenoysit	rotbraun	reichlich karmin	
Boulangerit	rotbraun (ohne gelb)		ähnlich gebrannter Umbra
Pyrargyrit	gewöhnl. Strich farbig		
Pyrostilpnit	" " "		Farbe läßt sich beim Anreiben besser studieren.
Proustit	" " "		
Xanthokon	" " "		
Wittichenit	ähnlich Emplektit		
Bournonit	asphaltbraun		arm an Rot gegenüber Boulangerit
Meneghinit	ähnlich gebrannter Umbra		
Jordanit	etwas rötlicher wie Meneghinit		
Fahlerz	wenig konstant		
Stephanit	gelblichbraun		

Mineral	Hauptfarbe	Nebenfarbe	Bemerkungen
Enargit	grau	gelbbraun	
Zinnkies	grau	violett	zwisch. Pyrit u. Pyrrhotin
Argyrodit	braun		
	Oxyde.		
Cuprit	der gewöhnliche rote Strich wird beim Ausreiben gelblich, sodann immer mehr und mehr schmutziggrün, endlich ganz grün. Bei Luftabschluß bleibt diese Erscheinung aus		
Eisenglanz	rot		
Ilmenit	hellbraun	violett	ähnlich Eisenkies. Farbe gleich der des Titaneisenglimmers
Polianit	grau	rötlichbraun	gleich geglühtem Manganitstrich
	Hydroxyd.		
Manganit	rötlich braun		
	Oxysulfid.		
Pyrostibit	orangegelb		
	Manganigsaure Salze.		
Braunit	braun, rotarm		
Hausmannit	rotbraun		
Anthracit	grau	deutlich braun	

Kapitel 73.

Untersuchungen der isolierten Fragmente in Bezug auf ihre Zusammensetzung.

A. Die Prüfung der Flammenfärbung erfolgt in der Weise, daß man die zu prüfende Substanz in den Mantel der Flamme eines Bunsenbrenners oder in die blaue mit dem Lötrohre erzeugte Oxydationsflamme einführt. Enthält die Substanz einen die Flamme färbenden Bestandteil, so wandelt sich ihre blaue Farbe entsprechend um. Zu diesem Versuche nimmt man ebenso wie zur Prüfung der Schmelzbarkeit scharfkantige dünne Splitter in die Pinzette, oder bei pulverigen Substanzen in die Öse eines Platindrahtes, den man vorher in destilliertes Wasser ge-

taucht hat. Vielfach genügt es auch, die Öse des rotglühenden Platindrahtes in das Pulver zu stecken, da von ihm genug haften bleibt. Man beachte die Regel, möglichst wenig Substanz für diese Untersuchung zu verwenden, da ein gehörig durchgeglühtes kleines Stück schärfere Färbungsreaktionen zeigt, als ein großes. Metalle, Legierungen, Schwefelmetalle und leicht reduzierbare Metalloxyde dürfen nicht am Platindrahte geprüft werden, da sie ihn zerstören. Man legt sie vielmehr in ein flaches Grübchen auf Kohle, bläst die Flamme darauf und sieht bei Anwesenheit färbender Substanzen die Probe von einem mehr oder weniger intensiv gefärbten Scheine umgeben.

Manche Substanzen zeigen erst bei länger fortgesetztem Blasen eine Färbung der Flamme, andere erst nach der Befeuchtung mit Schwefelsäure oder Salzsäure. Auch Beschläge (siehe unten), die sich auf der Kohle gebildet haben, können weiter auf ihre färbenden Eigenschaften untersucht werden, wozu man am besten keine allzu starke Flamme verwendet.

Alle Untersuchungen auf Flammenfärbung werden entweder in einem verdunkelten Raume ausgeführt oder doch wenigstens so, daß der Arbeitende die Einwirkung des Tageslichtes durch Beschattung der Flamme vermindert. Größte Sauberkeit und Ruhe sind bei der Untersuchung von Flammenreaktionen durchaus erforderlich, da sonst gar zu leicht intensiv färbende fremde Substanzen zu einem falschen Urteile verführen können. Besonders gefährlich wegen seiner starken, alles andere verdeckenden Gelbfärbung ist das Natrium, dessen allgemeine Verbreitung ein leichter Schlag auf den Tisch durch das augenblicklich erfolgende gelbe Aufleuchten der Flamme lehrt. Deshalb muß jede Erschütterung des Arbeitstisches während der Untersuchung vermieden werden; die benützte Platinunterlage muß vorher so lange, eventuell nach Befeuchten mit Salzsäure, geglüht werden, bis sie die Flamme nicht mehr färbt.

Die zur Untersuchung benutzte, durch das Lötrohr erzeugte Oxydationsflamme besteht aus einem intensiv blaugefärbten spitzen Kegel (Kernflamme), einem weniger leuchtenden Saum (Saumflamme) um diesen und einer matt violetten äußersten Hülle. Die Untersuchung findet entweder an der Spitze der Kernflamme oder in der Saumflamme statt.

Bringt man die Probe unmittelbar vor die Spitze der Kernflamme, so entsteht bei Gegenwart flammenfärbender Bestandteile vor der eigentlichen Lötrohrflamme ein mehr oder weniger leuchtender Flammenkegel, dessen Länge und Breite von der Flüchtigkeit des verdampfenden Stoffes abhängig ist.

Bei der Saumflamme befindet sich der Reaktionsraum am äußeren Rande der Flamme, ungefähr 3 mm hinter der Spitze der Kernflamme. Die Saumflamme besteht aus einer äußeren, deren wirksamer Teil auf der

Grenze der Saumflamme gegen die matt violette Hülle liegt, und einer inneren, dem Flammenteil nahe dem Rande der blauen Kernflamme.

Die Saumflamme gibt bei Gegenwart mehrerer färbender Bestandteile stets die sichersten Resultate. Die Färbung erscheint in Form eines schmalen Streifens und zwar zeigt der äußere Saum die Farbe des flüchtigeren, der innere die des weniger flüchtigen Bestandteiles. Ist der erstere nur in geringer Menge vorhanden, so erteilt er der Saumflamme seine charakteristische Färbung nur in dem Momente, in welchem die Spitze der Probe den äußeren Saum der Flamme berührt, d. h. so lange, als die Hitze zur Verdampfung des schwerer flüchtigen noch nicht ausreicht. Um die Reaktion wiederholt hervorzurufen, muß man den Flammensaum immer aufs neue mit der Spitze der Probe berühren.

Es sind zu unterscheiden[1]):

1. Gelb. Alle Natronsalze erteilen der Flamme eine intensiv gelbe, andauernde Färbung. Die durch Beimischungen erzeugten anderen Färbungen werden vom Natriumgelb vollkommen verdeckt und kommen nur in der äußeren Saumflamme zur Geltung.

2. Violett. Die meisten Kalisalze erteilen der Flamme eine violette Färbung. Natrium in einigen Prozenten verdeckt diese Färbung durch Gelb. Man betrachtet, um in solchem Falle die Kalifärbung zu erkennen, die Flamme durch ein mit Kobaltoxydul tiefblau gefärbtes Glas, wobei die gelbe Natriumfarbe verschwindet und nur die violette Kaliumfärbung sichtbar bleibt. — Auch Cäsium, Rubidium und Indium können violette Flammenfärbungen hervorrufen, kommen aber nur selten in Frage.

3. Rot. Eine Rotfärbung wird der Flamme durch Lithium, Strontium und Calcium erteilt.
   a) Lithium. Die Spitzflamme wird intensiv karminrot gefärbt. Bei Gegenwart von Natrium beschränkt sich die Färbung auf den äußeren Teil der Saumflamme.
   b) Strontiumsalze geben nach einigem Glühen eine meist intensive, bleibende, purpurrote Färbung, während die des Lithiums zwar augenblicklich eintritt, aber schnell wieder verschwindet.
   c) Calcium liefert eine intensiv gelbrote, dauernde Flammenfärbung, aber meist erst nach längerem Glühen. Die Gegenwart von Baryum ändert die Reaktion (siehe unten). Durch ein grünes Glas betrachtet, erscheint die Farbe zeisiggrün.

4. Grün. Grüne Färbung wird der äußeren Flamme durch Kupfer, Baryum, Thallium, Phosphorsäure und Borsäure erteilt.

---

[1]) Zusammenstellungen bei Brauns, Chemische Mineralogie, S. 23. — Fuchs-Streng-Brauns, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. 5. Aufl., Gießen 1907. S. 25. — C. F. Plattner, Probierkunst mit dem Lötrohre. 7. Aufl. von F. Kolbeck, 1907, sowie in den Handbüchern der analytischen Chemie und in den Tabellen zur chemischen Analyse.

a) Kupferoxyd erzeugt für sich und in Verbindung mit einigen Säuren, aber nicht mit Chlor und Brom eine smaragdgrüne Färbung der Flamme, die selbst da hervortritt, wo das Kupfer nur einen unwesentlichen Bestandteil ausmacht.

b) Baryumsalze erteilen der Flamme eine intensiv gelbgrüne, andauernde Färbung, die durch Anwendung von Salzsäure noch gesteigert wird. In einem Gemenge von Baryum und Calcium erscheint in der Spitzflamme zuerst die grüne Baryumfärbung und erst später die gelbrote Calciumfärbung.

c) Borsäure erteilt, am Platindraht in der Spitze der blauen Flamme geschmolzen, der äußeren Flamme eine gelblichgrüne Färbung, besonders nach dem Befeuchten mit Schwefelsäure.

d) Phosphorsäure. Phosphorsaure Salze bringen teils für sich allein, teils nach Befeuchten mit Schwefelsäure eine blaugrüne Färbung der äußeren Flamme hervor. Zur Entdeckung geringer Mengen von Phosphorsäure in Mineralien pulverisiert man sie, rührt das Pulver mit Schwefelsäure zu einem Teige, streicht diesen in das Öhr eines Platindrahtes und erhitzt mit der Spitze der blauen Flamme. Die Färbung tritt augenblicklich auf und verschwindet nach kurzer Zeit wieder.

e) Thalliumsalze rufen eine rein grüne Färbung hervor.

5. Blau. Chlor und Brom in Verbindung mit Kupfer erteilen der Flamme eine intensiv leuchtende, azurblaue Färbung. Man macht von dieser Reaktion Gebrauch zur Bestimmung von Chlor und Brom, indem man die fragliche Substanz mit einer stark übersättigten Kupferoxydboraxperle zusammenschmilzt. War die Substanz chlor- oder bromhaltig, so tritt vorübergehend die Blaufärbung auf, um nach einiger Zeit durch die grüne Farbe des gebildeten Kupferoxyds ersetzt zu werden.

B. Glühen mit Kobaltsolution. Mit Kobaltsolution $Co(NO_3)_2$ befeuchtet, nehmen zahlreiche Mineralien, falls sie in Pulverform stark geglüht werden, eine bestimmte Farbe an[1]): Blaues Glas liefern phosphorsaure, borsaure und kieselsaure Alkalien; eine blaue Masse (matt, unschmelzbar) liefern Tonerde, Kieselerde, Silikate, phosphorsaure Erden; eine grüne Masse liefern Zinkoxyd (gelbgrün), Zinnoxyd (blaugrün), Titansäure (gelbgrün), Antimonoxyd (schmutziggrün); eine fleischrote Masse liefert Magnesia; eine violette Masse liefern phosphorsaure und arsensaure Magnesia, Zirkonerde (schmutzigviolett); eine braune Masse liefert Baryt; eine graue Masse liefern Kalk und Strontian.

Für die Unterscheidung der Feldspäte hat Szabó[2]) eine besondere, auf die verschiedenen Flammenreaktionen begründete Methode in der eingehendsten Weise ausgearbeitet, die in einem besonderen Werke dargestellt ist, auf welches hier verwiesen werden muß.

C. Von besonderer Bedeutung ist noch das Verhalten der verschiedenen Mineralien gegen Phosphorsalz und Borax[3]).

[1]) Vgl. Anm. 1, S. 639.

[2]) J. Szabó, Über eine neue Methode, die Feldspate auch in Gesteinen zu bestimmen. Budapest 1876.

[3]) Vgl. Anm. 1, S. 639, ferner Klockmann, Lehrb. d. Min., 4. Aufl., 1907, 253 ff.

Auch hierbei erhält man charakteristische Glasflüsse. Selten wird das freie Metall (Kupfer) ausgeschieden. Das Salz wird im Öhr des Platindrahtes zu einer Perle geschmolzen; mit der glühenden Perle wird aus dem Pulver eine kleine Probe herausgenommen und nochmals entweder in der Oxydations- oder Reduktionsflamme geschmolzen[1]).

Es bedeuten im folgenden: h. = heiß; k. = kalt; st. g. = stark gesättigt; schw. g. = schwach gesättigt.

Farbe der Perlen	Mit Phosphorsalz in der Oxydations- Flamme	Mit Phosphorsalz in der Reduktions- Flamme	Mit Borax in der Oxydations- Flamme	Mit Borax in der Reduktions- Flamme
blau	Co, Cu (k.)	Co, W (k.)	Co, Cu (k.)	Co
grün	Cr (k.), Cu (h.), Fe (Co- und Cu-haltig), Ur (k.), Mo (blaßgrün)	Cr, Ur, V, Mo (alle k.)	Cr (k.), Cu (h.), Fe (Co- und Cu-haltig, h.)	Cr, V, Fe, Ur, Cr, Fe (k.), U (st. g.).
violett	Mn	Ti (k.), Nb (st. g., k.)	Mn, Ni (Co-haltig) (h.)	
rot (oder braun)	Fe (h., st. g.), Ni (h.)	Fe (h., blutrot), Fe + Ti oder W (k), Cu (k., st. g., auf Zusatz von Sn)	Fe (h.), Ni (k. rotbraun), Ur (h.)	Cu (k., st. g., undurchsichtig)
gelb	Fe (h., st. g.), Ag (h.), Ni (k.), U (h.)	Fe (h.)	Fe (h. schw. g., oder k., st. g.), Pb (h.), Bi (h.), Sb (h., st. g.), U (k.)	W (h. gelb bis farblos; k., gelblichbraun), Ti (ebenso)
grau		Ag, Pb, Bi, Sb, Cd, Zn, Ni (k.)		Ag, Pb, Bi, Sb, Cd, Zn, Ni
farblos	SiO_2 (gibt Skelett), Alkalien, Erden; Hg, Pb, Bi, Sb, Cd, Zn, Sn, W (k.)	SiO_2 (Skelett) Alkalien, Erden, Mn, Sn	SiO_2 (ohn. Skelett) Alkalien, Erden; Hg, Ag, Pb, Bi, Sb, Cd, Zn, Sn, W (st. g. opalartig)	SiO_2 (ohn. Skelett) Alkalien, Erden; Sn, Mn, Cu (h.)

D. Verschiedene Mineralien geben, vor dem Lötrohr auf der Kohle erhitzt, einen bestimmten Beschlag, der sich vor die Probe legt und an seiner Flüchtigkeit und Farbe erkannt werden kann. Viele Mineralien, die sich im Glaskölbchen nicht verflüchtigen lassen, zeigen doch noch auf der Kohle

[1]) Man vergleiche noch: W. Florence, Darstellung mikroskopischer Krystalle in Lötrohrperlen. Neues Jahrb. f. Min., 1898, II, 102—145.

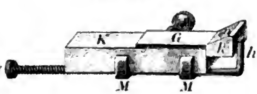
typische Beschläge[1]). Dabei entwickeln manche Mineralien auch noch charakteristische Dämpfe und Gase. In manchen Fällen ist das Mineral dabei mit Soda zu schmelzen.

	Beschlag	Dampf		Beschlag	Dampf
As_2O_3	weiß	Knoblauchgeruch	PbO	gelb	
Sb_2O_3	weiß	dicker Rauch	SO_4Pb	weiß	
Bi_2O_3	gelb	—	ZnO	gelb (h.), weiß (k.)	nicht riechend
SO_2	kein Beschlag	stechender Geruch	CdO	rotbraun	
SeO_2	grau	Rettichgeruch	SnO_2	gelb (h.), weiß (k.)	
TiO_2	weiß mit rotem Saum	geruchlos			

Nach einem von V. Goldschmidt[2]) angegebenen Verfahren kann man die Beschläge auf Glasplättchen (Objektträger) auffangen, so daß man sie mikroskopisch wie chemisch näher untersuchen kann, ohne daß sie mit Kohleteilchen gemengt sind. Man bedient sich dazu des in Figur 210 abgebildeten kleinen Apparates, der bei dem Mechaniker P. Stoë in Heidelberg (Jubiläumsplatz 70) zum Preise von 4,50 Mark unter dem Namen Kohlenhalter käuflich zu haben ist. Eben derselbe liefert auch die erforderlichen langen und kurzen Kohlen sowie die Glasplättchen.

Ein prismatisches Stück Holzkohle *K* wird in dem Halter festgeklemmt. Dagegen wird ein kurzes Stück Holzkohle *k* mit dem Haken *h* angepreßt. *h* wird durch eine Feder angezogen und durch Drücken auf den Knopf *N* gelöst. *k* hat eine schiefe Fläche, die man durch Reiben auf Schmirgel- oder Glaspapier anschleift. In die schiefe Fläche macht man eine kleine Vertiefung *v* zum Einlegen der Probe. Auf *K* legt man ein Glasplättchen *G*, z. B. einen Objektträger (eventuell ein größeres Deckgläschen oder ein Glimmerstück), bringt die Probe in die Vertiefung *v* und bläst eine Flamme darauf. Es legen sich sublimierte Teile als Beschlag auf das Glas. Alle Beschläge, die man sonst auf Kohle macht, lassen sich so auf Glas herstellen. Um das Springen des Glases zu verhüten, erwärmt man es über der Spiritusflamme, bis das sich aus der Flamme anlegende Wasser wieder verschwunden ist. Nach dem Gebrauch reinigt man das Kohlenstückchen *k* durch Reiben auf Schmirgelpapier, das

Fig. 291.



[1]) Vgl. Anm. 1, S. 639.

[2]) V. Goldschmidt, Lötrohrbeschläge auf Glas. Zeitschr. f. Kristallogr. u. Min. 1893. XXI. S. 329; mit Bemerkung von A. Streng.

Glas durch Abwaschen. Zum Blasen der Beschläge ist eine Spirituslampe der Öllampe häufig vorzuziehen, da sie nicht rußt.

Die Methode hat den Vorteil, daß sich dunkle Beschläge auf weißem Hintergrund ebensogut abheben, wie helle auf schwarzem. So kann man durch Wahl des Hintergrundes die Farben besser wahrnehmen. Der Hauptvorzug ist jedoch, daß die Glasbeschläge sich weiter untersuchen lassen.

Untersuchung der Beschläge. Viele Beschläge kann man nicht nach Farbe oder sonstigen Eigentümlichkeiten unterscheiden. So besonders die weißen. Sie lassen sich aber auf dem Glas mannigfach weiter untersuchen. Die wichtigsten Arten der Untersuchung dürften folgende sein:

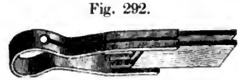
1. Ansehen unter dem Mikroskop;
2. Prüfen auf Flüchtigkeit, Schmelzbarkeit;
3. Umkristallisieren durch Sublimation;
4. Prüfung auf Löslichkeit in Wasser, Säuren, Alkalien, Kristallisieren beim Eintrocknen dieser Lösungen;
5. Prüfen mit Reagentien. Makro- und mikrochemisch.

So wäre nach Strengs Angabe zur Bestimmung des Zinks das Verfahren folgendes: Der weiße Zinkbeschlag auf Glas wird in Essigsäure gelöst. Nach Zusatz von sehr wenig essigsaurem Uranylnatrium löst man dieses auf und fügt in der Mitte des Tropfens etwas festes reinstes Uranylacetat zu und läßt langsam verdunsten. Bei Anwesenheit von Zink entstehen rings um das Uranylacetat die rhomboedrischen Kristalle von

$$NaC_2H_3O_2 \,.\, UO_2 \,.\, C_4H_6O_4 + ZnC_4H_6O_4 \,.\, 2UO_2 \,.\, C_4H_6O_4 + 9H_2O.$$

Kadmium gibt einen rotbraunen bis orangegelben Beschlag und mit den Uranylsalzen dieselben rhomboedrischen Kristalle wie Zink.

Fig. 292.



Zum Erhitzen der Gläser, sowie zur Sublimation eignet sich eine Doppelzange (Fig. 292). Durch das seitliche Fassen, sowie das Nachgeben der Zangenarme ist ein freies Ausdehnen des Glases ermöglicht und dadurch das Springen bis zu einem gewissen Grade verhindert.

E. Das zurückbleibende Metallkorn zeichnet sich ebenfalls durch bestimmte Eigenschaften aus[1]):

Au	gelb	dehnbar	Sb	grau	spröde
Ag	weiß		Bi	rot	
Cu	rot		Fe	grau	magnetisch
Pb	grau		Ni	rot	
Sn	grau (am besten mit Cyankalium)		Co	grau	

[1]) Vgl. Anm. 1, S. 639.

F. Erhitzen im einseitig zugeschmolzenen Glasrohr (Glaskölbchen) erfolgt zur Ermittlung flüchtiger Bestandteile, unter Ausschluß der Luft (keine Sauerstoffzufuhr)[1]).

1. Vollkommen flüchtige Mineralien: S, As, Hg, Realgar (AsS), Auripigment (As_2S_3), As_2O_3, Sb_2O_3, HgS, $(NH_4)Cl$, HgCl und andere. Die meisten schmelzen, ehe sie verdampfen. Andere, wie z. B. Arsen, Salmiak, verdampfen direkt, ohne zu schmelzen; sie schlagen sich als Sublimat in den kälteren Teilen der Glasröhre wieder nieder. Die Flüchtigkeit schwerer flüchtiger Substanzen ist am Platindraht zu ermitteln.

2. Teilweise flüchtige Mineralien. Flüchtige Bestandteile entweichen; ein nicht flüchtiger Rest bleibt zurück:

Es tritt aus:
S aus Eisenkies (FeS_2), Kupferkies ($CuFeS_2$), Magnetkies ($Fe_{11}S_{12}$);
As aus Speiskobalt ($CoAs_2$), Chloanthit ($NiAs_2$), Arseneisen ($FeAs_2$);
S und As (getrennt oder als As_2S_2) aus Arsenkies (FeAsS), Nickelarsenglanz (NiAsS), sowie manchen Sulfosalzen;
Sb_2S_3 aus Miargyrit und anderen Sulfosalzen;
H_2O aus allen H_2O- und vielen H-haltigen Mineralien, oft sauer oder alkalisch reagierend;
O aus Pyrolusit, Braunstein und anderen Manganerzen; aus Nitraten;
CO_2 aus manchen Karbonaten (Kalkspat);
SO_2 und SO_3 aus Eisen- und Tonerdesulfaten;
Ammoniak und Ammoniaksalze aus manchen Ammoniakverbindungen;
NO_2 aus salpetersauren Salzen.
Es ist zu achten auf den Grad der Flüchtigkeit (leicht, schwer), auf das Zerknistern und Zerspringen, auf Farbenveränderung und Aufglühen (Phosphoreszenz).

Andere Mineralien werden in der einseitig zugeschmolzenen Glasröhre erst aufgeschlossen und lassen dann einzelne Bestandteile frei:

Durch Schmelzen mit saurem schwefelsaurem Kali oder durch Erhitzen mit konzentrierter Schwefelsäure werden Halogene und flüchtige Säuren aus ihren Verbindungen ausgetrieben. (Nachweis von Cl, J, Br, Fl, NO_2, CO_2.)

Durch Erhitzen mit neutralem oxalsaurem Kalium geben Ammoniumsalze Ammoniak, Sulfate und Sulfide Schwefelwasserstoff erst nach Befeuchten mit Wasser.

G. Glühverlust als mineralogisches Kennzeichen. Von besonderer Wichtigkeit ist die Untersuchung im geschlossenen Glasrohre in Bezug auf den Wassergehalt. Goldschmidt hat diese Methode besonders durchgeprobt und den Glühverlust als mineralogisches Kennzeichen besonders behandelt[2]). Als Glühverlust bezeichnet Goldschmidt

[1]) Vgl. die Zusammenstellung bei Brauns, Chemische Mineralogie, S. 15—16.

[2]) Vgl. V. Goldschmidt, Glühverlust als mineralogisches Kennzeichen. Neues Jahrb. f. Min., 1906. I. 16—19. — V. Goldschmidt und P. Hermann, Glühverlust der Zeolithe als deren mineralogisches Kennzeichen. Ebenda S. 20—26.

den Gewichtsverlust beim Glühen, ausgedrückt in Gewichtsprozenten. Er ist oft identisch mit dem Wassergehalt, aber nicht immer. Der Glühverlust kann auch auf der Fortführung anderer Bestandteile beruhen; manche Substanzen sind ganz flüchtig. Der Glühverlust kann auch negativ sein, d. h. das Gewicht nimmt beim Glühen zu. *Der Glühverlust ist für jedes Mineral eine bestimmte Zahl.* Die Bedingungen des Glühens müssen angegeben werden; das Mineral muß frisch sein. Bei zersetzten Mineralien kann der Glühverlust ein Maß geben für Grad und Art der Veränderung. — Das Erhitzen im Platinlöffel oder Tiegel, auch in der Porzellanschale über der Spirituslampe, führt für gewisse Gruppen von Mineralien zu einem konstanten Glühverlust, doch ist bei anderen die Lötrohrflamme, das Glasgebläse, das elektrische Glührohr etc. vorzuziehen. Der Versuchsweg ist je nach der Mineralart und den Bedingungen, unter denen man arbeitet, auszuwählen.

Die Menge der Probesubstanz richtet sich nach dem verfügbaren Materiale und nach dem Glühverfahren. *Goldschmidt* wandte diese Methode an für die *Zeolithe*, die schon über der Spiritusflamme alles Wasser abgeben. Die für Bestimmungsversuche wichtigen Ziffern sind in der folgenden Tabelle nach *Goldschmidt* und *Hermann* zusammengestellt:

Name	Zusammenstellung	H_2O theoretisch %	Glühverlust gefunden %	Wasserangabe der Analysen in Hintze, Handbuch d. Mineralogie Bd. 2 [1]
Analcim	$Na_2Al_2Si_4O_{12} + 2H_2O$	8,2	8,3	[5,01]7,54 – 9,80 [11,05]
Apophyllit	$H_2(Ca, K_2)Si_2O_6 + H_2O$	16,1	16; 16; 17; 20	15,15 – 17,14
Brewsterit	$H_4(Sr, Ba, Ca)Al_2Si_6O_{18} + 3H_2O$	13,6	14,0	12,58 – 14,74
Chabasit	$(Ca, Na_2)Al_2Si_4O_{12} + 6H_2O$	21,3	19; 21; 21; 22	[7,70; 8,90]17,65 – 23,54
Desmin	$(Ca, Na_2)Al_2Si_6O_{16} + 6H_2O$	17,2	18; 18; 19	[14,50] 15,94 – 19,42
Edingtonit	$BaAl_2Si_3O_{10} + 3H_2O$	11,0	12,0	12,46 – 13,32
Epistilbit	$H_4CaAl_2Si_6O_{18} + 3H_2O$	14,8	15,5	[9,20]12,52 – 15,68
Faujasit	$H_4Na_2CaAl_4Si_{10}O_{30} + 18H_2O$	28,1	27,5	22,5; 27,0
Gismondin	$CaAl_2Si_4O_{12} + 4H_2O$	20,6	21,0	16,29; 17,66; 21,10
Gmelinit	$(Na_2Ca)Al_2Si_4O_{12} + 6H_2O$	21,1	21,0; 21,0	[8,58]17,98 – 22,0
Harmotom	$BaAl_2Si_5O_{14} + 5H_2O$	13,9	13,0; 14,5; 16; 16	[11,27]13,00 – 16,66
Heulandit	$H_4CaAl_2Si_6O_{18} + 3H_2O$	14,8	16,0	[10,00; 11,70] 13,40 – 17,48

[1]) Extreme Werte in Klammern.

Name	Zusammensetzung	H_2O theoretisch %	Glühverlust gefunden %	Wasserangabe der Analysen in Hintze, Handbuch d. Mineralogie Bd. 2.
Laumontit	$H_4CaAl_2Si_4O_{14} + 2H_2O$	15,3	13,0; 14,0	10,45 – 17,33 [19,80; 21,26]
Mesolith	$Na_2CaAl_4Si_6O_{20} + 5H_2O$	12,4	13,0	10,28 – 15,32 [16,01]
Natrolith	$Na_2Al_2Si_3O_{10} + 2H_2O$	9,5	9,0; 9,6; 9,6; 9,8; 10,0	[6,57; 6,40] 8,88 – 11,27 [12,50; 13,10; 13,60]
Phillipsit	$(Ca, K_2)Al_2Si_5O_{14} + 5H_2O$	16,5	17,0; 17,0; 17,0; 17,0	14,50 – 17,63 [18,21]
Skolezit	$CaAl_2Si_3O_{10} + 3H_2O$	13,8	13,0; 13,0	[9,00] 12,90 - 14,48
Thomsonit	$(CaNa_2)_2Al_4Si_4O_{16} + 5H_2O$	13,8	12,0; 13,0	[1,79; 5,77] 10,79 – 14,98 [16,66]
Datolith	$H_2Ca_2B_2Si_2O_{10}$	5,6	1,0; 3,0; 5,0	[1,56] 3,98 – 6,14 [9,43]
Pektolith	$H_2Na_2Ca_4Si_6O_{18}$	2,7	1,0	[0,16] 2,00 – 5,43
Prehnit	$H_2Ca_2Al_2Si_3O_{12}$	4,4	1,4; 1,6; 2,0	2,5 – 6,4

H. Erhitzen im beiderseits offenen Glasrohre (also bei Luft- bezw. Sauerstoffzutritt)[1]). Die entstehenden Oxydationsprodukte setzen sich im kälteren Teile der Röhre ab.

Schwefel entweicht als SO_2 aus Schwefelmetallen (Rösten); bei ungenügendem Luftzutritt entsteht zugleich ein Sublimat von S, As_2S_3, HgS u. s. w.

Selen gibt ein gasförmiges Oxyd (Rettichgeruch); daneben rotes bis stahlgraues Sublimat von Selen.

Arsen aus Arsenmetallen gibt Sublimat von As_2O_3 und Knoblauchgeruch; bei ungenügendem Luftzutritt Sublimat von As und As_2S_3.

Antimon aus Antimonmetallen gibt weißen Rauch und Sublimat von Sb_2O_3.

Tellur: weißer Rauch; Sublimat von TeO_2.

Quecksilber aus Zinnober, Amalgam, Fahlerz, gibt Sublimat von metallischen Quecksilberkügelchen; daneben leicht Sublimat von HgS.

J. Bestimmung der Schmelzbarkeit. Die verschiedene Schmelzbarkeit der Mineralien bietet uns ein weiteres wichtiges Kennzeichen für die Erkennung der einzelnen Mineralien. Die Methode ist oben (S. 601 bis 603) schon besprochen worden. Unter Benutzung der Kobellschen Schmelzbarkeitsskala ist eine relative Bestimmung der Schmelzbarkeit leicht möglich, wozu die Kobellschen Tafeln herangezogen werden müssen[2]).

1) Brauns, Chemische Mineralogie, S. 16—17.

2) F. v. Kobell, Tafeln zur Bestimmung von Mineralien. 14. Aufl. von K. Öbbeke, München 1901. — Vgl. ferner C. Dölter, Die Vulkane der

K. Die Untersuchung mit Säuren[1]) wird in vielen Fällen notwendig zur Erkennung des einzelnen Minerales. Die Einwirkung verschiedener Säuren ist auf S. 604—605 schon besprochen worden bei der Benutzung der Säuren zur Isolierung einzelner Gesteinsgemengteile. Es wird aber wohl kaum möglich sein, daß der Geologe immer die verschiedenen Säuren zur Hand hat, namentlich nicht auf Reisen. Man kann sich in solchen Fällen der Zitronensäure als Ersatz bedienen, namentlich für kleine chemische Untersuchungen auf Reisen. Wie die Untersuchungen H. Carrington Boltons[2]) gelehrt haben, besitzt die Zitronensäure die Fähigkeit, Natronsalpeter zu zersetzen, daraus Salpetersäure frei zu machen und von dieser unter Bildung von Oxalsäure, Kohlensäure und Stickoxyd zersetzt zu werden. Eine solche Mischung von Zitronensäure und Salpeter wirkt auf viele Mineralien sehr stark ein; dasselbe tun Mischungen von Zitronensäure mit Jodkalium oder Fluorammonium durch die freiwerdende Jod- oder Fluorwasserstoffsäure. Von den in Gesteinen häufiger vorkommenden Mineralien erleiden die nachstehend verzeichneten die beigesetzten Veränderungen:

1. Bei gewöhnlicher Temperatur werden Kalkspat und Aragonit ganz, Dolomit teilweise unter CO_2-Entwicklung, Nephelin unter Abscheidung von SiO_2 vollständig von einer gesättigten Zitronensäurelösung zersetzt.
2. Beim Erwärmen werden Gips und Apatit schwach angegriffen, Serpentin unter Abscheidung von SiO_2 zersetzt.
3. Beim Erwärmen mit Zitronensäure unter Zusatz von Jodkalium werden *Magnetit, Enstatit, Augit, *Hornblende, *Aktinolith, Olivin, Almandin, Pyrop und Epidot (die mit * bezeichneten nur schwach) zersetzt.

Das angegebene Verhalten zeigt zugleich, in welchen Fällen diese Methode zur Trennung von Mineralgemengen mit Vorteil angewendet werden kann. Quarz, die Mineralien der Feldspat- und Glimmergruppe, Graphit, Zirkon, Rutil, Turmalin, Leucit, Andalusit, Cyanit, Titanit werden von den genannten Reagentien nicht angegriffen.

Kapverden und ihre Produkte. Graz 1882. 69. — J. Joly, On the determination of the melting points of minerals. Part I. The uses of the meldometer. Proc. Royal Irish Acad. 1891. (3) II. 38—64; Rep. Brit. Ass. 1900. 750, Z. f. Kryst. 1893. **22.** 300—301. — J. Szabó, Über eine neue Methode, die Feldspate auch in Gesteinen zu bestimmen. Budapest 1876. S. 7—21. — Dölter, Physikalisch-chemische Min. Leipzig 1905. S. 99—101. Dort auch weitere Literatur über Schmelzpunktbestimmungen.

[1]) Man vergleiche auch die verschiedenen Angaben in Kap. 83.

[2]) Min. Mag. 1881. IV. S. 181—188.

L. Unterscheidung von Graphit und anderen Kohlenstoffmodifikationen[1]). Behandelt man grob gepulverten Graphit mit roter rauchender Salpetersäure und glüht ihn unmittelbar darauf, so bläht er sich auf und liefert eigentümlich wurmförmige Formen, die aus dicht nebeneinander liegenden, in steilem Zickzack verlaufenden regelmäßigen Querfalten zusammengesetzt sind. Diese äußerst charakteristische Reaktion kann man auch zur Erkennung des Graphits im Dünnschliffe oder im Pulver unter dem Mikroskope benutzen. Nur eine Gruppe natürlicher Graphite besitzt diese Eigenschaft.

Kapitel 74.

Die quantitative chemische Gesteinsanalyse und ihre Verwendung.

Der Geologe wird im allgemeinen nicht dazu veranlaßt sein, eine quantitative chemische Analyse selbst auszuführen. Er kommt aber häufig in die Lage, für den Chemiker das Material für eine Analyse aussuchen zu müssen. Er wird weiter häufig die von einem Chemiker angefertigte Analyse prüfen, anwenden und vergleichen müssen. Deshalb sollen einige allgemeinere Gesichtspunkte, von denen der Geologe ausgehen oder die er berücksichtigen muß, hier besprochen werden[2]).

Das Material, welches zur Gesteinsanalyse ausgesucht wird, soll möglichst gleichmäßig und — abgesehen von den Fällen, in denen gerade die Verwitterungserscheinungen untersucht werden sollen — möglichst frisch sein. Damit eine gleichmäßige Durchschnittsanalyse erhalten wird, ist es notwendig, daß nicht ein größerer Splitter, sondern eine Reihe kleinerer Splitter zur Analyse gegeben wird, etwa in der Weise, daß von einem oder

---

[1]) Luzi, Beiträge zur Kenntnis des Graphitkohlenstoffes. Zeitschr. f. Naturwiss. 1891. **64**. S. 224—269. Ber. d. D. chem. Ges. 1891, **24**, 4085; 1892, **25**, 214; 1893, **26**, 890, 1412. — Moissan, Comptes rendus 1895. Bd. 121. S. 538—542; Bd. 120. S. 17. Ann. chim. phys. 1896 (7) **8**, 306—347. — Weinschenk, Zeitschr. f. Kristallogr., 1897. Bd. 28. S. 139. 294.

[2]) Man vgl. hierzu: H. St. Washington, Chemical analysis of igneous rocks, published from 1884 to 1900 with a critical discussion of the character and use of analysis. United States Geological Survey. Professional Paper Nr. 14. Washington 1903. — H. St. Washington, Manual of the chemical analysis of rocks. New York 1904. — W. F. Hillebrand, Some principles and methods of rock analysis, Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 176. Washington 1900. — Hillebrand-Zschimmer, Praktische Anleitung zur Analyse der Silikatgesteine. Leipzig 1899. — W. F. Hillebrand, The Analysis of silicate and carbonate rocks, Bulletin of the United States Geological Survey Nr. 305. Washington 1907. (Sehr wichtig!) Deutsche Übersetzung ist in Vorbereitung. — M. Dittrich, Beiträge zur Gesteinsanalyse. Mitt. d. Gr. Bad. geol. Land.-Anst. Heidelberg 1894. IV. Bd., 3. H. — M. Dittrich, Genauigkeit von Gesteinsanalysen. Neues Jahrb. f. Min., 1903. II. 69—82. — M. Dittrich, Anleitung zur Gesteinsanalyse. Leipzig 1905. (Sehr wichtig!)

mehreren größeren Blöcken, im Notfalle von einem Handstücke, einzelne Splitter abgeschlagen werden. Es ist besonders darauf zu achten, daß nicht irgendwelche Konkretionen, Einschlüsse, Fremdkörper mit zu den Splittern gelangen, sondern daß das zur Analyse bestimmte Gemenge auch die mineralogische Durchschnittszusammensetzung besitzt. Die erhaltenen Splitter müssen gut gemischt und der Teil für die Analyse muß ohne Wahl abgeteilt werden. Die Menge der nötigen Substanz zur Erlangung einer guten Durchschnittsanalyse richtet sich nach der Beschaffenheit der Gesteine, namentlich nach der Korngröße der Gemengteile. Bei feinerkörnigen Gesteinen, wie z. B. Basalt, ist eine Menge von 20—30 g ausreichend. Handelt es sich dagegen um sehr grobkörnige Gesteine, wie z. B. um pegmatitische Granite, so muß die Menge der Splitter mehr wie 50 g betragen. Diese Ziffern gelten aber nur dann, solange nur die gewöhnlichen Bestandteile bestimmt werden sollen. Handelt es sich aber um die Bestimmung eines der nur in ganz geringen Beträgen vorkommenden Elemente, so ist eine sehr viel größere Probemenge notwendig.

Die Methoden, nach denen die Analyse durchzuführen ist, können hier selbstverständlich keine Besprechung erfahren[1]).

Von der Analyse selbst ist zu verlangen, daß sie vollständig ist, daß nicht nur die wesentlichsten Bestandteile, die in den meisten Gesteinen auftreten (wie SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO [die beiden letzteren getrennt], CaO, MgO, Na_2O, K_2O, H_2O), bestimmt sind, sondern daß auch auf alle Substanzen geprüft ist, deren Auftreten, Zurücktreten oder Fehlen von besonderer Bedeutung für die Beurteilung des Gesteines sein kann. Alle schon genannten Substanzen müssen bestimmt werden, auch wenn sie nur in Spuren in dem Gesteine auftreten. CO_2 muß in jedem Falle bestimmt sein, wenn das Gestein nicht mehr ganz frisch ist. TiO_2, P_2O_5, Cl, SO_3, S, ZrO_2, Cr_2O_3, NiO sind quantitativ immer zu ermitteln, wenn sie in merkbarer Menge zugegen sind. Es hat deshalb der Einleitung einer quantitativen chemischen Analyse möglichst eine mikroskopische Prüfung vorauszugehen. Namentlich TiO_2 und P_2O_5 treten in so vielen Gesteinen auf, daß ihre regelmäßige Bestimmung direkt gefordert werden muß.

Für die spezielle Beurteilung sei auf die Zusammenstellung von Washington verwiesen[2]).

Die Verwertung der erhaltenen Analysenziffern kann je nach dem vorliegenden Falle in verschiedener Weise erfolgen. In vielen Fällen wird

[1]) Es sei hier noch darauf hingewiesen, daß sich das chemische Laboratorium von Professor Dr. M. Dittrich in Heidelberg, Brunnengasse 14 speziell mit der Anfertigung von Gesteins- und Mineralanalysen für wissenschaftliche Zwecke befaßt.

[2]) United States Geological Survey. Professional Paper Nr. 14. Washington 1903. p. 38—43. — Die wesentlichsten Daten finden sich auch in der Besprechung von Milch im Zentralblatt f. Min., 1905. S. 211—212.

die Angabe der Gewichtsprozente ausreichen, in denen die Analyse gewöhnlich von dem Chemiker ausgestellt ist. In anderen Fällen muß man aber die Gewichtsprozente in Molekularproportionen ausdrücken, die man erhält, wenn man die Gewichtsprozente durch das Molekulargewicht dividiert.

Die Berechnung der Analyse, namentlich die Berechnung der Beteiligung der einzelnen Mineralkomponenten wird am einfachsten erfolgen und die sichersten Resultate verbürgen, wenn die genaue Zusammensetzung der einzelnen Komponenten bekannt ist. Es müssen deshalb in den Fällen, in denen auf das relative Verhältnis der einzelnen Gesteinsgemengteile besonderer Wert gelegt wird, einer oder mehrere Bestandteile für sich untersucht werden, also neben der Bauschanalyse des gesamten Gesteines müssen Partialanalysen angefertigt werden. Um das Material hierzu zu erlangen, müssen die früher angegebenen Trennungsmethoden herangezogen werden. Diese Sonderung für die Partialanalyse muß im allgemeinen von dem Geologen selbst ausgeführt werden, wobei er die Reinheit der erhaltenen Probe unter dem Mikroskope zu prüfen hat.

Angaben über die Art und Reihenfolge der Berechnung finden sich bei Rosenbusch[1]) und Zirkel[2]).

Zur übersichtlichen Darstellung der Analysenergebnisse bedient man sich zuweilen der Gesteinsformeln, die von Michel Lévy[3]) vorgeschlagen sind, in denen strukturmineralogische Zusammensetzung und Erstarrungsverhältnisse ausgedrückt werden sollen. Sie haben sich nicht recht eingebürgert, da sie sich als viel zu kompliziert erwiesen haben und können hier übergangen werden.

Übersichtlicher wie die Michel Lévyschen Formeln sind die Gesteinsformeln, welche im allgemeinen von den Molekularproportionen ausgehen. Osann hat diesen eine Darstellung gegeben, die einen Vergleich mit anderen analytischen Ergebnissen leicht gestattet und auch leicht durchgeführt werden kann. Die in Gewichtsprozenten ausgedrückte Analyse muß zunächst in Molekularproportionen umgerechnet[4]) und auf 100 berechnet werden. Es sind sodann zusammenzufassen[5]):

---

1) Elemente der Gesteinslehre, 2. Aufl. Stuttgart 1901. S. 6 u. f.

2) Lehrbuch der Petrogr., 2. Aufl. Bd. I. Leipzig 1893. S. 650 u. f.

3) Michel Lévy, Structures et classification des roches éruptives. Paris. 1889. — Zirkel, Lehrbuch der Petrogr., Bd. I. 1893. S. 708 f. — Weinschenk, Gesteinskunde, Bd. I. S. 59.

4) Zu dieser Umrechnung hat Osann sehr praktische Tafeln herausgegeben: A. Osann, Beiträge zur chemischen Petrographie. I. Teil: Molekularquotienten zur Berechnung von Gesteinsanalysen. Stuttgart 1903. — Vgl. auch Grubenmann, Die kristallinen Schiefer II. Berlin 1907. S. 14.

5) Die nähere Bedeutung dieser Werte ist bei Osann näher angegeben (Min. u. petrogr. Mitt. Bd. 19. S. 355 f.) und später eingehender diskutiert worden (Min. u. petr. Mitt. Bd. 21. S. 322—356. 403—436).

$s = SiO_2 + TiO_2 + ZrO_2$
$A = Na_2O + K_2O = (NaK)_2O$
$C = Al_2O_3 - (NaK)_2O = Al_2O_3 - A$
$F = (Fe\,Mn\,Mg\,Sr\,Ba\,Ca)\,O - C$
$n = \frac{10\,Na_2O}{A}$

Zur Kontrolle
$s + 2A + 2C + F = 100$

Es kommt nicht auf die absoluten Größen von A, C und F an, da deren Summe bekannt ist, sondern nur auf ihre relativen Werte, ihr Verhältnis. Um diese Werte nun zu einer Dreiecksprojektion benutzen zu können, werden sie stets auf eine bestimmte Summe berechnet. Osann schlug 20 vor, d'Ans 30; das letztere ist für manche Fälle zweckmäßiger. Die so erhaltenen Zahlen werden als a, c und f bezeichnet. Die Zahlen a, c und f werden stets auf halbe Einheiten abgekürzt. Die erhaltenen Formeln gestatten auch, wenigstens in rohen Zügen, umgekehrt die Analysenziffern zu berechnen. Es ist dabei zu beachten, daß s den Gesamtkieselsäuregehalt, A die Anzahl der Molekel $(NaK)_2O \cdot Al_2O_3$, C die von $CaO \cdot Al_2O_3$ und F die von (Fe, Mg, Ca)O angibt. Abgesehen vom Kieselsäuregehalte sind A, C, F charakteristisch für bestimmte Mineralien: A für Alkalifeldspäte (und Nephelin, Leucit, Sodalith, Hauyn), C für Kalkfeldspat, F für die sogenannten dunklen Gemengteile, wie Augit, Hornblende, Olivin.

Das Verhältnis $a : c : f$ gibt somit einen nicht absolut genauen, aber jedenfalls sehr nahezu richtigen Maßstab für die Mengenverhältnisse, in welchen sich Alkalifeldspäte, Anorthit und dunkle Gemengteile an der Gesteinszusammensetzung beteiligen. Die Zahl n gibt uns die Zahl der Na_2O-Moleküle an; die Zahl der K_2O-Moleküle ist 10 — n.

Wenn $Al_2O_3 > CaO +$ Alkalien ist, so sind die Analysen „mit Tonerde übersättigt". In diesen Fällen wird die stets geringe Differenz dadurch ausgeglichen, daß eine dem Al_2O_3-Überschuß entsprechende Menge (MgFe)O als Atomgruppe $(MgFe)Al_2O_4$ dem Werte C zuaddiert wird (Beispiel II).

Wenn $Al_2O_3 < K_2O + Na_2O$ ist, so sind die Analysen „mit Tonerde untersättigt". Es tritt dies ein, wenn alkalihaltige Pyroxene und Amphibole vorhanden sind. Im allgemeinen ist dies nur bei sehr alkalireichen Gesteinen der Fall. Stets wird hier eine dem Überschusse der Alkalien über Tonerde entsprechende Menge Fe_2O_3 in Rechnung gezogen, mit jenen zu einer Atomgruppe $Na_2Fe_2O_4$ vereinigt und zu A addiert (Beispiel III).

Wenn man nur die relativen Werte a, c und f rasch berechnen will, so können folgende von E. Kaiser[1]) vorgeschlagene Formeln verwandt werden. Nach Umrechnung der Bauschanalyse in Molekularproportionen und auf die Summe 100 sind zunächst als Hilfswerte zu berechnen:

[1]) E. Kaiser, Zur Osannschen Berechnung der Gesteinsanalysen. Zentralbl. f. Min., 1904. S. 338—340.

$$N = 100 - (SiO_2 + TiO_2 + ZrO_2 + Al_2O_3 + P_2O_5)$$
$$= 100 - (s + Al_2O_3 + P_2O_5)$$

oder

$$N = (NaK)_2O + (Fe\,Mn\,Mg\,Sr\,Ba\,Ca)O$$
$$P = \frac{A}{N} = \frac{(NaK)_2O}{N}$$
$$Q = \frac{Al_2O_3}{N}$$

Daraus ergeben sich:

$$a = 20\,P$$
$$c = 20\,(Q - P)$$
$$f = 20\,(1 - Q)$$

Die Werte a, c, f sind auf halbe Einheiten abzurunden $[a + c + f = 20]$

Will man auf eine andere Summe $a + c + f = S$ berechnen, so lauten die Formeln allgemein:

$$a = SP$$
$$c = S\,(Q - P)$$
$$f = S\,(1 - Q)$$

Um das Verfahren noch zu veranschaulichen, sind im folgenden fünf Analysen zusammengestellt, die auch Osann als Beispiele zur allgemeinen Erläuterung der Methode benutzt:

I. Augitdiorit resp. Norit von Montrose Point, Cortland Series.
II. Feldspatreicher Gabbro (Anorthosit) vom Iron Mt., Laramie Hills, Col.
III. Granat-Pyroxen-Malignit vom Toobah Lake, Kanada.
IV. Eläolithsyenit vom Cerro de Posada, Serra de Monchique.
V. Gabbro von Torfhaus, Harz.

In Molekularquotienten:

	I.	II.	III.	IV.	V.
SiO_2	59,50	59,06	56,69	58,86	60,04
TiO_2	—	—	0,27	0,85	—
Al_2O_3	10,35	19,44	9,08	14,07	13,67
Fe_2O_3	—	—	1,21	—	—
FeO	7,38	3,08	3,72	8,92	7,92
MnO	0,36	—	—	0,18	—
MgO	8,14	1,29	5,64	0,92	2,63
CaO	8,65	13,12	12,65	2,23	10,98
Na_2O	4,23	3,31	7,11	9,03	3,61
K_2O	1,39	0,70	3,19	4,94	1,15
P_2O_5	—	—	0,44	—	—

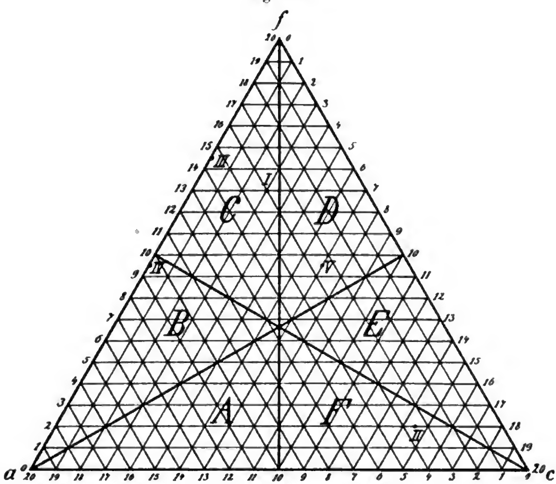
	s	A	C	F	n
I.	59,50	5,62	4,74	19,78	7,5
II.	59,06	4,01	15,43	2,06	8,3
III.	59,96	10,30	0	22,01	7,9
IV.	59,71	13,97	0,10	12,15	6,5
V.	60,04	4,76	8,91	12,62	7,6

Daraus ergeben sich die Gesteinsformeln:

I.	$s_{59,5}$	a_4	c_3	f_{13}	$n_{7,5}$
II.	s_{59}	$a_{3,5}$	$c_{14,5}$	f_2	$n_{8,5}$
III.	s_{57}	$a_{6,5}$	c_0	$f_{13,5}$	$n_{7,9}$
IV.	$s_{59,5}$	$a_{10,5}$	c_0	$f_{9,5}$	$n_{6,5}$
V.	s_{60}	$a_{3,5}$	c_7	$f_{9,5}$	$n_{7,6}$

Die Werte $a + c + f$ sind auf die Summe 20 berechnet. Die Eintragung in eine Dreiecksprojektion ist nach dem Vorbilde von Osann in Figur 293 erfolgt. Das Projektionsfeld ist ein gleichseitiges Dreieck, das durch ein System von Parallelen

Fig. 293.



zu den Dreiecksseiten in kleine gleichseitige Dreiecke zerfällt; jedes dieser wird durch die drei Höhenlinien in 6 gleichschenklige Dreiecke geteilt. Jedes Verhältnis $a : c : f$ wird durch einen Projektionspunkt dargestellt. Die drei Ecken, die als a, c und f bezeichnet sind, entsprechen Punkten, für die a, bezw. c oder $f = 20$, die beiden anderen Größen $= 0$ sind. Der Mittelpunkt des ganzen Dreiecks entspricht $a = c = f$, also der Formel $a_{6.6}\ c_{6.6}\ f_{6.6}$. Die drei Seiten entsprechen den Werten $f = 0$, $c = 0$, $a = 0$. Die Parallelen zu den einzelnen Seiten entsprechen bestimmten Werten jeder der drei Größen, also die Parallelen zu cf den Werten von $a = 1$—19. Der Projektionspunkt für $a_{x.5}$ muß also in der Mitte liegen zwischen der x^{ten} und $x + 1^{ten}$ Parallelen zur Linie cf von rechts ab gerechnet. Um einen Projektionspunkt zu einer bestimmten Gesteinsformel zu finden, braucht man nur die Parallelen zu 2 Seiten zu suchen, die dritte Parallele muß dann dem Werte der dritten Größe entsprechen. (Die letztere Bestimmung des Projektionspunktes dient also der Kontrolle. Das

ganze Projektionsfeld zerfällt durch die drei Höhenlinien in 6 Felder, die in Figur 293 mit den Buchstaben A—F bezeichnet sind. Es ist für einen Punkt in

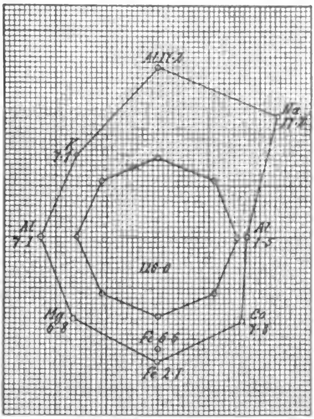
A	$a > c > f$	D	$f > c > a$
B	$a > f > c$	E	$c > f > a$
C	$f > a > c$	F	$c > a > f$

Die Buchstaben A—F für die einzelnen Felder des Dreiecks sind hier nicht identisch mit den Werten *A*, *C*, *F* der Osannschen Gesteinsformeln.

Wenn man nur die einem Teile des Projektionsfeldes auftretenden Projektionspunkte vergleichen will, so braucht man auch nur diesen Teil zu zeichnen[1]).

Von ähnlicher Bedeutung wie die Osannsche Dreiecksprojektion sind auch die verschiedenen anderen graphischen Darstellungen der chemischen Zusammensetzung für die Vergleichung der Eruptivgesteine. Methoden hierfür sind angegeben worden von Reyer, Judd, Iddings (in verschiedenen Formen), Dakyns und Teall, Washington, Croß, Harker, Loewinsson-Lessing, Pirsson, Becke, Michel Lévy (in mehreren Formen), Brögger, Rosenbusch, Mügge, Osann und Berg[2]).

Fig. 294.

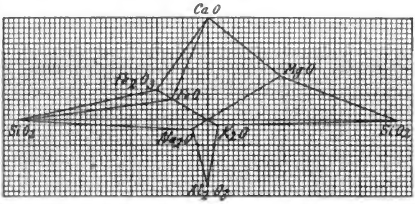


[1]) Vgl. z. B. Erdmannsdörffer, Jahrb. d. kgl. preuß. Landesanst. f. 1908. Bd. 29. S. 21.

[2]) Literatur und historische Übersicht bei Iddings, Chemical composition of igneous rocks, expressed by means of diagrams with reference to rock classification on a quantitative chemico-mineralogical basis. United States Geological Survey. Professional Paper Nr. 18. Washington 1903. — Die wichtigsten Methoden sind in folgenden Arbeiten neben der vorstehenden besprochen: Becke, Tschermaks Min. u. petr. Mitt. 1897. 16. S. 315—320. 1900. 19. S. 185. — Michel Lévy, Bull. d. serv. d. l. carte géol. d. l. France, Tome IX, Nr. 57. 1897. p. 38. — Bull. soc. géol. France (3) vol. 25. 1897. p. 326—377, pl. X—XV; **26**. 1898. p. 311—327. pl. III—VII. — Brögger, „Graphische Darstellung der chemischen Zusammensetzung des Laurdalits und seiner Ganggefolgschaft" in „Die Eruptivgesteine des Kristianiagebiets III. Das Ganggefolge des Laurdalits". Videnskabsselskabets Skrifter. I. Math.-naturv. Kl. 1897. Nr. 6. S. 255—257. — Mügge, Zur graphischen Darstellung der Zusammensetzung der Gesteine. Neues Jahrb. f. Min., 1900. I. 100—112. — Osann, Versuch einer chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine. Tscherm. Min. u. petr. Mitt., 1900. 19. S. 351—469.

Von diesen können hier nur einige wenige besprochen und abgebildet werden. Man kann, wie es Rosenbusch für zahlreiche Fälle durchgeführt hat [1]), die auf 100 berechneten Molekular- oder Metallatomprozente auf einem schmalen Streifen von 10 cm Länge (= 100 Prozent) abtragen. Die Prozente werden in Millimetern aufgetragen, so daß man aus der

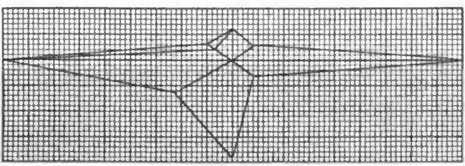
Fig. 295.



Verteilung einer verschiedenen Signatur bezw. Farbe die Beteiligung der einzelnen Bestandteile an der Zusammensetzung ablesen kann.

Das von Brögger verbesserte Michel Lévysche Verfahren soll mit einem Blick die Zusammensetzung des Gesteins aus einer charakteristischen Figur abzulesen gestatten (Fig. 295, 296). Es wird, am besten auf Millimeter-

Fig. 296.



papier, oder auch durch freie Konstruktion, ein Radius geschlagen mit der Hälfte des Wertes des Molekularquotienten für SiO_2, also bei SiO_2 = 44,22 Prozent ist der Molekularquotient [2]) 0,7367, der Radius des Kreises also ca. 37 mm. Der horizontale Durchmesser des Kreises gibt dann den graphischen Ausdruck für den SiO_2-Gehalt. Auf dem Vertikaldurchmesser des Kreises wird nach oben der CaO-Gehalt (in Millimetern entsprechend

1901. 20. S. 399—558. 1902. 21. S. 365—448. 1903. 22. S. 322—356. 403—436. — Rosenbusch, Elemente der Gesteinslehre, 2. Aufl. S. 192. — G. Berg, Jahrb. d. kgl. preuß. geol. Landesanstalt f. 1907, Bd. 28, S. 241—244.

1) Elemente der Gesteinslehre, 2. Aufl. S. 192. 2 Farbentafeln.

2) Als Hilfsmittel dienen die Osannschen Tafeln. Vgl. S. 650, Anm. 4.

dem Molekularquotienten für CaO), nach unten in entsprechender Weise der Al_2O_3-Gehalt abgetragen. Auf Radien, welche mit der CaO-Richtung 120° bilden, werden die den Molekularquotienten für Na_2O und K_2O, auf den Radien, welche mit der Al_2O_3-Richtung 120° bilden, die den Molekularquotienten für FeO links und MgO rechts aufgetragen. Die Endpunkte werden verbunden. Soll auch der Fe_2O_3-Gehalt berücksichtigt werden, so kann dies auf der Richtung von FeO außerhalb des Endpunktes für FeO geschehen.

Mügge ging von einem etwas anderen Gesichtspunkte aus, indem er betonte, daß die Zahlen für SiO_2 in den Gesteinsanalysen eine andere Rolle spielen, wie die für die Basen. Man hat, da nur die Eisenerze wie zuweilen etwas MgO und Al_2O_3 (Korund- und Spinellbildung) nicht an SiO_2 gebunden sind, das SiO_2 zu allen übrigen Bestandteilen in Beziehung zu setzen, was dadurch geschieht, daß das SiO_2 die Gestalt eines regelmäßigen Sechs- oder Achteckes erhält (Fig. 294), dessen Radien in Summa die Menge der SiO_2 darstellen, während auf den Verlängerungen die Basen abgetragen werden. Auf benachbarten Radien werden die abgetragen, auf deren Vergleich es hauptsächlich ankommt, wobei auch die Zugehörigkeit einzelner Basen zu mehreren Gesteinskomponenten berücksichtigt wird. Die Verbindung der Endpunkte der so verlängerten Radien gibt ein zweites Polygon. Das Verhältnis der beiden Polygone zueinander nach Größe, Form und Lage gibt die Charakteristik der Zusammensetzung der Gesteine und eventuell auch die Gruppierung der Bestandteile. Man kann hier sowohl Gewichtsprozente wie Molekularproportionen zu Grunde legen. In der Figur 294 ist die Analyse auf der Molekülsumme 200 berechnet, was namentlich dann sehr zweckmäßig ist, wenn andere Gesteine verglichen werden sollen.

In den Figuren 294 bis 296 sind dargestellt folgende zwei Gesteine (nach Analysen von Brögger):

	Fig. 295. Camptonit (Kjose-Aklungen)	Fig. 294 u. 296. Laurdalit (N. von Löve)
SiO_2	0,7370	0,9092
TiO_2	0,0312	0,0175
Al_2O_3	0,1248	0,1869
Fe_2O_3	0,0355	0,0152
FeO	0,0720	0,0433
MnO	0,0063	0,0024
MgO	0,1745	0,0495
CaO	0,2066	0,0563
Na_2O	0,0342	0,1237
K_2O	0,0182	0,0515
P_2O_5	0,0074	0,0052
CO_2	0,0832	—

Beide Analysen in Molekularquotienten.

Kapitel 75.

Die Anfertigung von Präparaten für die mikroskopische Untersuchung.

Die Anfertigung von Dünnschliffen ist im allgemeinen eine langwierige und mühsame Arbeit, die erst nach einiger Übung erfolgreiche Resultate liefert. Es wird deshalb sehr häufig vorgeschlagen, die Dünnschliffe in den Schleifereien herstellen zu lassen, die von verschiedenen Handlungen eingerichtet sind (z. B. Dr. Krantz-Bonn; Voigt & Hochgesang-Göttingen). Es ist aber unbedingt notwendig, daß der Geologe, der in die Lage kommt, sich mit mikroskopischen Untersuchungen zu beschäftigen, Dünnschliffe selbst herstellen kann. Wenn auch in den Schleifereien die Schliffe mit besonderer Eleganz hergestellt werden, wie man sie selbst nur bei besonderem Aufwande an Zeit erreichen kann, so ist doch zu bedenken, daß, ganz abgesehen von den möglichen Verwechslungen in den Werkstätten, eine große Menge von Beobachtungen über Härte, Strichpulver, Struktur, Einschlüsse verloren gehen können, wenn man die Herstellung nicht selbst übernimmt. Man kann selbst jederzeit den Schliff beenden und damit eine ganze Reihe von Beobachtungen während der Schleifarbeit machen. Auch wenn man noch so genau die Lage der gewünschten Schliffrichtung bezeichnet, so wird man doch sehr häufig von den Werkstätten diese Forderung nicht erfüllt sehen. In den Werkstätten wird eben selbstverständlich auf die Eleganz und Vollkommenheit des Schliffes der Hauptwert gelegt, während man selbst auf die Beobachtung den Hauptwert legen muß. Es soll deshalb die Anfertigung der Dünnschliffe (zum Teil nach Rosenbusch) besprochen werden und namentlich auf die Schwierigkeiten hingewiesen werden, die zu überwinden sind.

Man benutzt entweder einen Splitter, den man mit dem Hammer von dem betreffenden Gesteinsstücke abschlägt, oder den man mit einer der unten (S. 670) erwähnten Schneidemaschinen abschneidet[1]). — Man vereinfacht sich die Arbeit sehr, wenn man schon beim Sammeln, beim Schlagen des Handstückes im Steinbruche, für die Beschaffung von Schleifsplittern sorgt[2]). Es fliegen so viele feine Splitter ab, daß die Mühe außerordentlich gering ist, diese mit einzupacken, ganz gleich, ob man überhaupt schon an einen Dünnschliff denkt, und ganz gleich, ob man den Schliff in einer Handlung anfertigen läßt oder selbst herstellt. — Sofern es sich nicht um das

[1]) Man kann sich die ganze Schleifarbeit dadurch sehr abkürzen, daß man sich mit der Schneidemaschine Plättchen von 2 mm und weniger Dicke herstellt. Mit einer guten Maschine kann man eine Schnittfläche von gewöhnlicher Größe bei Basalt z. B. in 5 Minuten, den 1 mm dicken Schnitt also in 10 Minuten herstellen.

[2]) Es wird hiergegen sehr viel gesündigt, so daß auf die Befolgung dieses Rates nicht genug hingewiesen werden kann.

Studium von Verwitterungserscheinungen handelt, muß der Splitter frisch, ohne Spuren von Zersetzung und nicht zu klein sein. Er muß wenigstens 3—4 cm^2 Oberfläche haben; ferner sei er ohne Risse und Sprünge, denn sonst zerreißt er leicht beim Schleifen. — Eine der breiten Flächen eines solchen Splitters wird nun aus freier Hand eben und glatt geschliffen. Man kann sich hierbei eines festliegenden Schleifsteines bedienen, wozu sich Gußeisenplatten am besten eignen, die zweckmäßig schwach nach außen gewölbt sind. Man schleift zunächst unter Benutzung groben Schmirgels[1]), den man je nach dem Gesteinsgefüge später durch feineren ersetzen kann. Für viele Fälle ist es bequemer, sich einen kleinen Schleifapparat von einem Mechaniker konstruieren zu lassen, bei welchem an vertikaler Achse verschiedene härtere und weichere Schleifsteine horizontal angeschraubt werden können, die dann vermittels eines Tretbrettes und Schwungrades nach Art der Nähmaschine mit den Füßen in Rotation versetzt werden können, so daß man beide Hände frei behält[2]). Etwas weniger bequem, aber doch sehr praktisch fand es Rosenbusch, sich eines rotierenden Schleifsteins von Schmirgel oder hartem Quarzsandstein zu bedienen, der in einem mit Wasser gefüllten eisernen Kasten läuft, und mit der rechten Hand vermittelst einer Kurbel um eine horizontale Achse gedreht wird. Man drückt mit der linken Hand den zu schleifenden Splitter fest gegen die schmale Fläche, später zur Planierung der angeschliffenen Ebene gegen die breite Fläche des Schleifsteines. Für die meisten Fälle genügen vollkommen die fest stehenden Gußeisenplatten, deren man am besten immer zwei zur Hand hat, von denen die eine mit grobem, die andere mit mittelkörnigem Schmirgel, manchmal auch zweckmäßiger Weise mit Karborund bearbeitet wird.

Die feststehenden Platten legt man am besten in Zinkblechkästen, die einen so hohen Rand besitzen müssen, daß das Umherspritzen von Schleifmaterial vermieden wird. Bei sämtlichen Platten muß man dafür sorgen, daß sie gleichmäßig abgenutzt werden, da sonst die Güte der Schliffe sehr leidet und man statt einer ebenen eine gewölbte Fläche erhält. Es ist auf die Herstellung einer völlig ebenen Schliffläche besondere Sorgfalt zu verwenden, da man sonst keine gleichmäßig dicken Dünnschliffe erhält. Ungleichmäßig dicke Schliffe machen bei der Beobachtung besondere Schwierigkeiten. Um zu sehen, ob eine ebene Fläche erreicht ist, kann man einen Objektträger oder ein sonst völlig gerade geschnittenes Glasstück benutzen, das man mit der Seitenkante auf die Schliffläche setzt. Wenn man die Schliffläche so hoch hält, daß man gerade darüber hinwegsehen kann, kann man leicht beurteilen, ob die Fläche der Glaskante parallel,

[1]) Bezugsquelle für Schmirgel und Karborund: Naxosschmirgelwerke von Georg Voss & Co., Deuben (Bez. Dresden).

[2]) Einige der auf S. 670 erwähnten Schneidemaschinen haben eine besondere Übertragung für derartige rotierende Schleifsteine.

also eben ist. Sind keine Unebenheiten auf der Schlifffläche mehr zu sehen, so wäscht man den Splitter, namentlich dessen Schlifffläche, gründlich, am besten mit Wasser und Seife. (Es muß auch noch darauf hingewiesen werden, daß gleichzeitig eine gründliche Reinigung der Hände vorgenommen wird, damit das feine Schleifmaterial bei den folgenden Arbeiten nicht durch gröbere Schmirgelkörner mit verunreinigt wird.) Dann glättet man die Schlifffläche, am besten auf einer mattgeschliffenen Glasplatte mit feinstem Schmirgel. (Der im Handel befindliche feinste Schmirgel enthält häufig zu viel grobe Stückchen, als daß er ohne weiteres benutzt werden könnte. Man muß ihn abschlämmen. Man rührt ihn in einem hohen Becherglase im Wasser auf, gießt die feine Trübe ab und läßt sie in einem anderen Becherglase absitzen. Die Glasplatte muß besonders gut aufgehoben werden, damit nicht grobe Verunreinigungen darauf gelangen. Gröbere Schmirgelstücke oder abfallende Gesteinsbruchstückchen rufen Schrammen hervor, die dem Schliffe schaden). Darauf muß man den Splitter (vor allem die Schlifffläche) gut säubern, am besten wiederum mit Wasser und Seife. Damit soll alles Schleifmaterial aus etwaigen Poren oder Rissen entfernt werden, damit dieses nicht nachher im Schliffe bleibt. Eine eigentliche Politur dürfen die Dünnschliffe für die gewöhnlichen Untersuchungen nicht erhalten. Man befestigt alsdann den Splitter mit der angeschliffenen Fläche auf einem tunlichst dicken Objektglase vermittels Kanadabalsams oder eines anderen geeigneten Kittes. Das Objektglas darf nicht zu dünn sein, weil es unter dem Druck der Finger, namentlich bei geringerer Übung, leicht springt oder sich biegt und man in den späteren Stadien des Schleifprozesses die Ränder des Schliffes wegschleift, während seine Mitte dick bleibt. Zum Aufkitten beim Schleifen benutzt man zweckmäßig quadratische Gläser und nicht die rechteckigen gewöhnlich verwandten Objektgläser. Wenn man das Abschleifen der Fingernägel und etwaige Verletzungen der Finger verhüten will, kann man auch dickere Glasblöcke (etwa 2 cm dick) mit abgerundeten Ecken und Kanten nehmen, da man diese besser festhalten kann.

Der Kanadabalsam, der zum Kitten genommen werden soll, muß erst gehärtet werden. Es ist unzweckmäßig, größere Mengen zu härten, da diese immer noch von dem Lösungsmittel verlieren und so leicht zu spröde werden. Die notwendige Quantität des käuflichen Kanadabalsams hebt man vermittels eines in den Kork des Aufbewahrungsgefäßes eingesteckten Glasstabes heraus, oder man benutzt schon etwas härteren Balsam und vermeidet dadurch die sehr widerwärtige Beschmutzung des Arbeitstisches mit der klebrigen Substanz. Man erhärtet den Kanadabalsam einfach in einem Porzellantiegel oder in einem Metalllöffel durch Erwärmung über sehr kleiner Flamme, steckt gegen Ende des Prozesses ein Streichholz oder einen Glasstab in die zähflüssige Masse und untersucht die Härte nach

dem Erkalten. Man muß vorsichtig erwärmen, damit keine Entzündung eintritt, da der beim Verbrennen sich bildende Ruß den Schliff trübt. Der Kanadabalsam muß so weit gehärtet werden, daß ein Tropfen, auf einem Objektträger langsam abgekühlt, noch gerade Eindrücke des Fingernagels annimmt. Ist der Kanadabalsam härter, so springt der Schliff leicht ab, ist er weicher, so verschmiert der Balsam mit dem Schleifmaterial und der Schliff geht ebenfalls verloren. — Einen vorzüglichen, dem Kanadabalsam aber nur beim Schleifen, nicht zum Einbetten des fertigen Präparats, vorzuziehenden Kitt erhält man durch langsames Zusammenschmelzen und langanhaltendes Kochen eines Gemenges von 16 Gewichtsteilen zähflüssigen Kanadabalsams und 50 Gewichtsteilen Schellack. Die vor dem vollständigen Erkalten fadenziehende Masse formt man durch Rollen zwischen den Händen zu handlichen Stäben von etwa 1 cm Querschnitt und 20—30 cm Länge[1]).

Das Aufkitten des Splitters geschieht in folgender Weise: Man bringt von dem gehärteten Kittmittel einige Tropfen auf den Objektträger oder das quadratische Glas oder den Glasblock (die Menge hängt von der Größe des Schleifsplitters ab) und erwärmt vorsichtig. Der wohlgereinigte, im Trockenschrank getrocknete und mäßig erwärmte Splitter wird auf das Kittmittel heraufgebracht und mäßig angedrückt. Dann lasse man erkalten, indem man den Splitter am Herabschwimmen vom Kanadabalsam hindert. Man kann auch die Härtung auf dem Objektträger selbst vornehmen. Rosenbusch fand es dabei stets vorteilhaft, erst dann den Schliff fest auf die Glasplatte zu drücken, wenn im Balsam keine Blasenentwicklung mehr stattfand; drückt man noch während derselben den Schliff fest auf, so haften gar oft beim Erkalten Luftbläschen unter ihm, die fast mit Gewißheit bei fortgesetzter Operation ein Abreißen des Schliffes vom Objektträger bewirken. In jedem Falle muß man den aufgekitteten Splitter von der Glasseite aus, eventuell mit einer Lupe, betrachten, um zu sehen, ob keine Luftblasen mehr zwischen Glas und Splitter sich befinden. Sind trotz aller Vorsichtsmaßregeln nach dem Erkalten noch Luftbläschen unter der Schliffläche, so muß man eben geduldig wieder erwärmen und durch Andrücken des Splitters auf die Glasplatte die Bläschen zu entfernen suchen. Ungeduld in diesem Falle wird sich fast ausnahmslos durch noch größeren Verlust an Zeit und Arbeit rächen. Die Menge des angewandten Kittmittels muß so groß sein, daß auf allen Seiten des Splitters ein Überschuß an Kanadabalsam, wie ein Ringwall, vorhanden ist. Ist der Splitter hier nicht geschützt, so wird durch Angriff der Schmirgelkörner leicht eine Beschädigung und zugleich damit ein Defekt des Schliffes eintreten können, falls dieser nicht ganz fortgerissen wird. Bei wasserhaltigen Mineralien,

[1]) Kitt dieser Art ist von Dr. Krantz-Bonn zu beziehen.

z. B. wenn zeolithhaltige Gesteine vorliegen, darf man den Splitter nicht zu stark erwärmen, weil sonst diese Mineralien ihren Wassergehalt verlieren, sich verändern und auch ganz undurchsichtig werden können. —

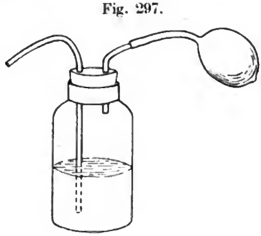
Wenn der Objektträger mit dem Splitter nun vollständig (langsam!) erkaltet ist, dann beginnt man mit der Herstellung der zweiten Schlifffläche, indem man wieder anfangs mit grobem Schmirgel oder Karborund auf der feststehenden oder der rotierenden Schleifplatte schleift. Man faßt dabei den Objektträger so, daß man immer von Zeit zu Zeit die Lage der Finger gegenüber dem Glase ändert. Man muß für möglichst gleichmäßigen Druck sorgen, damit nicht an einzelnen Stellen zu viel fortgenommen wird. Einseitiger und auch zu starker Druck schaden: durch letzteren wird nur das Schleifmaterial zwischen Glas- bezw. Eisenplatte und Gestein fortgedrückt. Der Schleifprozeß wird dadurch nur verlangsamt. Hat man eine Schneidemaschine zur Verfügung, so wird man, namentlich bei dickeren Splittern, den Splitter einklemmen und möglichst nahe am Objektträger, parallel zu diesem, den Splitter abschneiden. Man schleift so lange mit grobem Schmirgel, bis das Gestein beginnt durchsichtig zu werden. Dann wäscht man wieder gründlich zur Entfernung des groben Schleifmaterials und setzt die Bearbeitung auf der Glasplatte mit feinem Schmirgel weiter fort.

Man kann den Schliff als vollendet ansehen, wenn man durch ihn nach Befeuchtung mit Wasser feine Schrift deutlich lesen kann; — ein Stadium, das selbstverständlich je nach dem Grade der Durchsichtigkeit der Substanz früher oder später eintritt. Bei grobkörnigen Substanzen wird dies früher, bei feinkörnigen später eintreten. Die durchschnittliche Dicke der Schliffe soll etwas unter 0.05 mm betragen. Man prüft den mit Wasser befeuchteten Schliff in Bezug auf die Dicke unter dem Mikroskop. Man soll immer darauf achten, möglichst gleichmäßig dünne Schliffe zu erhalten. Während des Feinschleifens muß besonders darauf gemerkt werden, daß der Schliff parallel zur Unterseite geschliffen, also gleichmäßig dick wird. Man kann dies dadurch prüfen, daß man auf die neu angeschliffene Seite einen zweiten Objektträger legt und, zwischen beiden hindurchsehend, prüft, ob beide parallel zueinander liegen. Der Schliff wird zum Schlusse völlig, wieder mit Wasser und Seife, von dem Schleifmaterial gereinigt. Ein eigentliches Polieren des Schliffes etwa auf Leder mit Caput mortuum ist nicht nur unnötig, sondern hier und da geradezu mißlich, da vollständig glatte Schliffe eine ganze Reihe von Beobachtungen nicht zulassen, die zur Bestimmung der einzelnen Mineralien sehr wichtig sind.

Ein so hergestelltes Präparat kann nach gründlicher Reinigung immerhin ein leidliches Beobachtungsobjekt sein und zur Aufbewahrung hergerichtet werden. Man wird den Schliff nur dann auf dem randlich angeschliffenen Objektträger lassen, wenn es sich um ein sehr leicht zerreibliches (zerbröckelndes)

Gestein wie etwa Verwitterungsprodukte handelt oder wenn es sehr porös ist. In anderen Fällen wird man den Schliff auf ein neues, durch Schleifen nicht verletztes Objektglas übertragen. Zu diesem Zwecke reinige man den fertigen Schliff durch Waschen mit Seife und Wasser, nachdem man zuvor den überflüssigen Kanadabalsam mit einer Messerspitze entfernt hat; dann spüle man rasch in reichlichem Wasser ab und trockne mit einem leinenen Tuche. Ränder des Schliffes, welche nicht dicht und fest auf dem Objektglase auflagen, unter welche also bei dem Schleifen Schmutz gelangte, opfert man besser, indem man sie mit einem Messer absprengt. Sonst kann man auch die untere Fläche noch einmal reinigen, wenn man das Präparat erwärmt, so daß die Balsamschicht schmilzt, dann den Schliff nach dem Rande des Objektglases hinschiebt und ihn über die Kante weg auf die andere Seite des Trägers gleiten läßt, so daß nun die vorher untere Seite des Schliffes nach oben liegt. Hat man so den Schliff vollständig gereinigt, so bringt man auf ein neues Objektglas, das frei von allen Schlieren, Punkten und Rissen sein muß, ein Tröpfchen Kanadabalsam, den man gelinde erwärmt, so daß er ein wenig zerfließt. Hierzu verwendet man am besten mit Xylol stark verdünnten Kanadabalsam, den man in Tuben (z. B. von Dr. Krantz, Bonn) erhält. Man kann ihn auch selbst herstellen (vgl. S. 701) und dann in einer Flasche, Figur 297, aufheben. Durch einen Druck auf den Kautschukballon kann man einen Tropfen, oder so viel man sonst wünscht, zum Ausfließen bringen. Beim Loslassen des Ballons tritt aller in der Ausflußröhre befindliche Balsam zurück, so daß also ein nachträgliches Herabtropfen vermieden wird. — Es wird vielfach vorgeschlagen, quadratische Gläser (sogenanntes Heidelberger Format 30 : 30 mm) zu nehmen, doch ist es des Etikettierens wegen besser, sich des sogenannten Gießener Vereinsformates (28 : 48 mm), nicht aber des englischen Formates (26 : 76 mm) zu bedienen, damit man ohne Hindernis auf dem Mikroskoptisch eine volle Drehung vornehmen kann. — Nun erwärmt man in einer Pinzette gelinde das Objektglas mit dem Schliffe bis zum Flüssigwerden der Kanadabalsamschicht, durch welche er anhaftet, indem man sich dabei der linken Hand bedient, hält es über das neue Objektglas und schiebt vermittelst einer Messerspitze oder eines Streichholzes mit der rechten Hand das Präparat vom alten auf den neuen Objektträger. Man kann dieses Übertragen sehr begünstigen, wenn man an eine Seite des Schliffes schon verdünnten

Fig. 297.



Kanadabalsam bringt, dann erhitzt und so das Schwimmen des Schliffes erleichtert. Andere empfehlen, das fertige Präparat von dem Glase dadurch zu lösen, daß man das Glas mit dem Schliff in Alkohol legt, bis er sich von selbst abgelöst hat; man hebt ihn mit einem Pinselchen aus der Flüssigkeit, trocknet ihn zwischen Filtrierpapier und überträgt ihn auf den definitiven Objektträger. Hierbei wird man den Schliff aber sehr leicht verletzen; außerdem ist dies Verfahren langwieriger. Zerreißt der Schliff unglücklicherweise beim Übertragen, so berücksichtige man vorläufig nur das größte oder beste Stück. Liegt dieses auf dem Kanadabalsam des neuen Trägers, so erwärme man ein wenig, so daß es hafte, und lasse dann ein wenig erkalten, tue dann ein neues Tröpfchen Kanadabalsam aus der Tube oder der Flasche Figur 297 auf den Schliff, wobei jeder Überschuß zu vermeiden ist, und bedecke es mit einem möglichst dünnen Deckgläschen, dessen Größe die des Schliffes ein wenig übertreffen muß. Nun erwärme man wieder das Ganze hoch über der Flamme, indem man es mit der linken Hand in einer Pinzette hält, bis zur Entwicklung dunkler Dämpfe, unter noch vorsichtigerer Vermeidung sowohl des Aufkochens wie erst recht des Anbrennens des Kanadabalsams, da der dabei sich abscheidende Kohlenstoff das Präparat schwärzen und unbrauchbar machen kann. Hierauf kühle man durch Anblasen ein wenig ab und drücke nun das Deckgläschen vermittels einer federnden Pinzette fest an. Man setze dabei deren zusammengedrückte Spitzen auf die Mitte des Präparates und lasse sie dann durch Nachgeben der Finger nach den Seiten sich wiederholt in verschiedener Richtung über das Deckgläschen hin öffnen. Man kann aber auch das Objektgläschen auf eine ebene Unterlage (Glasplatte) legen und mit einem Federhalter, Bleistift oder sonst einem ein wenig nachgiebigen Holzstücke das Deckglas andrücken, indem man nach verschiedenen Richtungen über dieses hinwegfährt. So wird man es auf einem von beiden Wegen erreichen, daß kein Luftbläschen unter dem Präparate bleibt; widrigenfalls muß man die Operation wiederholen. — Zwei Stückchen des zerrissenen Präparates unter ein Deckgläschen zu bringen, ist stets eine mißliche, selten gelingende Arbeit. — Die Menge des zum Aufkitten des Deckgläschens benutzten Kanadabalsams muß so groß sein, daß der Raum zwischen Objektträger und Deckgläschen völlig ausgefüllt ist. Den an den Rändern überflüssigen Kanadabalsam entfernt man vorsichtig mit einem Messer, wäscht rasch in Spiritus und spült endlich in reichlichem Wasser ab.

In vielen Fällen aber wird man die Bedeckung mit einem Deckgläschen unterlassen, so, wenn man genauere Bestimmungen der Brechungsindizes einzelner Gemengteile nach Schröder van der Kolk (vgl. S. 675) oder Bestimmungen der Erze oder Beobachtungen an Hohlräumen machen will. Nach dem Vorschlage von Michel Lévy kann man auch nur

den größeren Teil des Präparates mit Kanadabalsam und Deckglas schützen, während der Rest zu den anderen Beobachtungen ohne Deckglas frei bleibt.

Man etikettiert endlich das fertige Präparat, einmal durch Einschneiden mit einem Schreibdiamanten in die Rückseite des Objektträgers, anderseits auf einem aufgeklebten Papierstreifen. Die Aufbewahrung erfolgt entweder bei dem zugehörigen Handstück, zweckmäßig in kleinen Papphüllen von der ungefähren Größe der Objektträger, aus denen diese nur gerade herausragen. Hebt man die Schliffe für sich auf, so benutzt man Holzkästchen mit gekerbten Einsätzen von der Breite und Weite, die den gebrauchten Objektgläsern entspricht. Die Objektträger werden so eingesetzt, daß sie nebeneinander stehen und nur von der schmalen Seite aus gesehen werden können. Zweckmäßiger sind Papptafeln, in denen die Präparate nebeneinander liegen, so daß man die Schrift jederzeit lesen kann. (Bezugsquelle für beide Kästen: Theodor Schröter, Leipzig-Connewitz, Friedrichstraße 5—7.)

Diese Methode der Herstellung von Dünnschliffen ist natürlich nur bei festen, von Hohlräumen freien Gesteinen anwendbar. Für poröse, lockere oder aus einzelnen Körnern bestehende Gesteine sind folgende Methoden als praktisch erprobt:

1. Sehr grobkörnige, etwas *in ihrem Zusammenhange gelockerte oder stark zersetzte Gesteine* lassen sich, nachdem sie auf dem Objektträger dünn geschliffen sind, nicht auf einen neuen Objektträger übertragen, ohne dabei in zahlreiche Stücke zu zertrümmern. Man klebt sie deshalb, nachdem sie auf der einen Seite angeschliffen und sodann gut gereinigt sind, direkt auf den definitiven Objektträger und präpariert sie, nachdem sie dünn geschliffen sind, durch Aufgießen gekochten Balsams auf den gereinigten und getrockneten Schliff, rasches Auflegen und sanftes Niederdrücken des Deckgläschens. Man muß sich dabei vor zweierlei hüten: Erstens darf man den Objektträger nicht nochmals erwärmen und zweitens darf man das Deckgläschen nicht zu fest aufdrücken, da in beiden Fällen ein Auseinanderfallen des Schleifstückchens das Gewöhnliche ist; man muß daher die Präparation möglichst rasch ausführen, bevor der aufgegossene Balsam erkaltet ist.

2. *Poröse, zellige, bröcklige, schlackige und blasige Gesteine* (Kalktuff, vulkanischer Tuff, Asche, Schlacken, Bimsstein, Laven, wie vor allem auch *Verwitterungsprodukte*) werden vor dem Schleifen längere Zeit mit Kanadabalsam gekocht, mit dem alle Hohlräume vor dem Schleifen ausgefüllt sein müssen. Es ist zweckmäßig, von vornherein möglichst dünne (nur 2—3 mm dicke) Splitter zum Schleifen zu nehmen, oder herzustellen, damit auch das Gestein von dem Kanadabalsam völlig durchtränkt werden kann. Oder man schleift erst an und durchtränkt dann nochmals den dünnen Splitter. Das Einkochen

erfolgt in einem tieferen Löffel, der Splitter und Kanadabalsam aufzunehmen vermag. Noch besser ist es, das Einkochen in einem weiten, starken Reagenzglase vorzunehmen, das durch einen Korkstopfen verschlossen werden kann. In das Reagenzglas bringt man den porösen Splitter und so viel von einem annähernd die richtige Härte (Fingernagelprobe!) besitzenden Kanadabalsam, daß der Schliff völlig untertaucht. Das verschlossene Reagenzglas wird auf das Wasserbad gesetzt und längere Zeit (je nach dem Gesteine bis zu 24 Stunden) erwärmt. Bei höherer Temperatur tritt eine derartige Druckerhöhung in dem Glase ein, daß der Kanadabalsam bei nicht zu großer Dicke auch in die feinsten Poren eindringt. Nachher wird das Glas vom Wasserbade fortgenommen, der überflüssige Kanadabalsam abgegossen und der getränkte Splitter nach dem Erkalten geschliffen. — Handelt es sich um ein sehr feuchtes, vielleicht sogar etwa hygroskopisches Gestein, das den Kanadabalsam nicht leicht aufnimmt, so kocht man den Splitter zunächst mit Alkohol, dann mit Benzol und Xylol und bringt ihn dann erst in den Kanadabalsam, ohne natürlich mehr von dem Lösungsmittel herüber zu bringen, als in die Poren eingedrungen war. — Es ist unbedingt nötig, daß bei sehr lockeren Gesteinen (z. B. Verwitterungsprodukten) der eingedrungene Kanadabalsam gut gehärtet, des Lösungsmittels beraubt ist, da sonst weicher Kanadabalsam, poröses Gestein und Schleifmaterial eine zähe klebrige Masse bilden, in der nichts von der Gesteinsstruktur erhalten bleibt. — Gerade dies Anschleifen von Verwitterungsprodukten, lockeren vulkanischen Tuffen etc. erfordert besondere Übung, liefert aber dann, wenn man es selbst durchführt, sehr gute Gelegenheiten zu einzelnen Beobachtungen. — Diese Gesteine müssen ebenso wie die unter 1. nach dem Anschleifen der ersten ebenen Fläche sogleich auf einen Objektträger aufgekittet werden, auf welchem sie dauernd aufbewahrt werden sollen, da sie ebenso wie jene nur selten eine Übertragung ohne Zerreißen zulassen.

3. Für sehr weiche und lockere Gesteine empfiehlt A. Wichmann[1]) folgendes Verfahren: Man schabt ein Stück mit dem Messer eben und reibt die so hergestellte Fläche auf einer trockenen Glasplatte glatt; darauf klebt man sie mit gekochtem Kanadabalsam, den man auf dem Objektträger bis zur Zähflüssigkeit hat abkühlen lassen, fest und schabt nun wieder mit dem Messer so viel von dem Stück ab, daß nur noch ein dünnes Blättchen übrig bleibt. Das gut gereinigte Präparat wird mit einer Lösung von Kanadabalsam in Chloroform bedeckt und das Deckgläschen aufgedrückt. Das Präparat ist in vielen Fällen hinreichend durchsichtig.

4. Um zur mikroskopischen Untersuchung geeignete Präparate von Tonen zu erhalten, an denen auch die Struktur in ihrer Ursprünglichkeit erhalten ist, wandte Steenstrup[2]) folgende Methode an: Mit feinem Sande oder auf einer Glasscheibe wird ohne Benutzung von Wasser an dem vollkommen trockenen Tonstück eine

[1]) Tschermak, Min. u. petr. Mitt., 1883. Bd. 5. S. 33. Anm.

[2]) K. J. V. Steenstrup, Tyndpröver af Ler. Geol. fören. i Stockholm förhandl. XII. 1890. S. 647—648.

Ebene angeschliffen und das Stück mit dieser Ebene auf einem Objektträger mittels Kanadabalsams aufgeklebt. Der Balsam muß dickflüssig sein, so daß er in die Poren des Tones nicht einzudringen vermag, und muß stark binden; Steenstrup verwandte mit bestem Erfolge den von Rosenbusch vorgeschlagenen Schellackkitt (s. S. 660). Anstatt nun das aufgekittete Tonstück abzuschleifen, wird es, nachdem der Kitt gehörig getrocknet ist (wozu, weil Erwärmen selbstverständlich vermieden werden muß, etwa 24 Stunden erforderlich sind), einfach abgebrochen; dabei bleibt auf dem Kitt eine dünne Tonhaut sitzen, die man noch durch Abspritzen mit Wasser verdünnen kann. Da aber in diesem anklebenden Häutchen durch den Schleifprozeß die einzelnen Teile gegeneinander verschoben sind, so verfährt man zur Erlangung eines die ursprüngliche Struktur zeigenden Präparates folgendermaßen: Man klebt die bei dem Abbrechen des Tonstückes gewonnene neue ebene Fläche auf einen zweiten Objektträger, läßt den Kitt erhärten, bricht den Ton abermals ab, verdünnt das kleben gebliebene Tonhäutchen nach Bedarf abermals durch Abspritzen mit Wasser, trocknet, gibt Kanadabalsam und schließlich das Deckgläschen darüber und hat nun ein Präparat, in welchem die einzelnen Mineralbestandteile noch die natürliche Struktur zeigen. Zu bemerken ist noch, daß man zur Entfernung anhaftender Tonstäubchen von der ersten gewonnenen Schlifffläche sich nur bei härteren Tonen eines Pinsels, bei weicheren, in denen selbst feine Pinselhaare Kritzen erzeugen, nur eines Luftstromes bedienen darf.

5. Dünnschliffe und Präparate von Mineralpulvern. Eine Methode zur Herstellung von Dünnschliffen von Sanden und anderen aus einzelnen Körnern bestehenden Aggregaten gaben Thoulet [1]) und Mann [2]) an. Nach ersterem vermischt man das zu untersuchende körnige Gemenge mit ungefähr dem zehnfachen Volumen Zinkoxyd und gibt dann so viel von einer konzentrierten Kaliwasserglaslösung dazu, daß man einen dicken Brei erhält. Mit diesem Brei füllt man ein wenige Millimeter hohes Bruchstück einer Glasröhre mit ebenen Rändern, stellt auf ein Blatt Papier, deckt nach Füllung mit einem Blatt Papier zu und läßt trocknen. Nach 2—3 Tagen ist die Masse so weit erhärtet, daß man daraus wie von einem beliebigen Gestein einen Dünnschliff anfertigen kann. Mann verwendete einen Brei von Zinkoxyd und Phosphorsäure, der nach dem Erhärten gleichfalls sich schleifen läßt.

Noch besser ist das Verfahren von F. Stöber [3]), bei dem die kleinen Körner in Kanadabalsam eingebettet liegen. Er erwärmt auf einem Deckglase, das auf einem Objektträger lose aufliegt, einen Tropfen Kanadabalsam, der während des Erwärmens auch zwischen Deckglas und Objektträger sich ausbreiten darf, und bestreut diesen Balsam mit den zu schleifenden Körnern. Bevor der Balsam noch ganz erhärtet ist, wird er mit einem

[1]) J. Thoulet, Note sur un nouveau procédé d'étude au microscope de minéraux en grains très fins. Bull. soc. min. de France, 1879. II. S. 188.

[2]) Neues Jahrb. f. Min., 1884. II. S. 187.

[3]) Bull. soc. min. de France, 1899. Bd. 22. 61—66. — Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., 1904. I. 1. S. 114.

Stückchen Pauspapier bedeckt und mit einem sehr eben geschnittenen Kautschukstück (Radiergummi, Gummistopfen) stark gedrückt. Nach Erhärten wird der Kautschuk entfernt, das Papier abgerissen und das Präparat mit feinem Schmirgel angeschliffen, bis eine genügende Zahl von Körnern angeschliffen ist. Dann wird die angeschliffene Fläche mit einer möglichst dünnen Kanadabalsamschicht auf einen neuen Objektträger aufgekittet. Der erste Objektträger und das Deckglas werden abgesprengt und nun die Körner von der anderen Seite angeschliffen. — Kleine Mineralfragmente kann man auch in Kork einklemmen und dann anschleifen[1]). — Kommt es nicht darauf an, genaue planparallele Schnitte durch die einzelnen Körner zu erhalten, so kann man den Sand oder das Pulver direkt einbetten. Gröberen Sand zertrümmert man in einem Achatmörser[2]). Man zerteilt die Körner durch kräftiges Drücken mit dem Pistill in kleinere Fragmente. Die Zerteilung darf durchaus nicht weiter gehen, da äußerst feines Mineralpulver, wie es die chemische Analyse verlangt, zu wenig zeigt. Die durch Zertrümmerung entstandenen Fragmente sind für die Beobachtung höchst wertvoll. Die Interferenzfarben treten an den dünnen Stellen in der von Dünnschliffen bekannten Stärke auf. Einschlüsse und Kristallstruktur sind an den Splittern bedeutend besser zu beobachten, als an den runden Sandkörnern. Sehr wichtig ist außerdem der Vorteil, daß hierbei die Existenz von Spaltungsdurchgängen scharf hervortritt, und muschelig brechende Mineralien, wie Quarz und Augit, deutlich von leicht spaltbaren, wie Feldspat, Calcit und Hornblende, zu unterscheiden sind.

Will man nur die äußere Form der Körner studieren, so bettet man sie in eine Flüssigkeit von stark abweichendem Brechungsindex ein, am besten zunächst in Wasser. Will man dagegen die inneren Eigenschaften der Körner studieren, so muß man sie in eine stärker lichtbrechende Flüssigkeit einbetten. In allen Fällen, in denen man sich der Flüssigkeiten zur Beobachtung bedient, darf man nicht zuviel Pulver in die Flüssigkeit hineinbringen und muß das Pulver mit einem Deckgläschen bedecken. Es empfiehlt sich, die Sandkörner, nachdem sie mit Hilfe der schweren Lösungen und schweren Schmelzen in Gruppen zerlegt sind, nacheinander in Flüssigkeiten mit zunehmendem Brechungsindex auf flachen Uhrgläsern einzulegen und zu beobachten. Man benutzt zu einer ersten Untersuchung am besten das Benzol ($n = 1{,}50$) und wendet hierauf für Mineralien der Pyroxen-Amphibolgruppe Jodmethylen ($n = 1{,}74$) und für die Mineralien mit noch höherem Brechungsindex Phenylsulfid ($n = 1{,}95$), Quecksilbermethyl ($n = 1{,}93$), Phosphor ($n = 2{,}14$) oder eine konzentrierte Lösung desselben in Schwefel-

[1]) Vgl. Böse, Zeitschr. d. D. Geol. Ges., 1896. 48. S. 930—931.

[2]) J. W. Retgers, Über die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Dünensande Hollands u. s. w. Neues Jahrb., 1895. I. S. 32.

kohlenstoff (n = 1,95) an (vgl. über diese wie andere Einbettungsmittel S. 674—680).

In den meisten Fällen, namentlich wenn es sich um Dauerpräparate handelt, wird man auch das lockere Material in Kanadabalsam einbetten, wozu man auf einem Objektträger einen Tropfen durch Anwärmen ausbreitet. Nach dem Erkalten schüttet man das Pulver darauf, das, falls die Verteilung zufriedenstellend ist, durch Erwärmen zum Festsitzen gebracht werden kann. Starkes Erhitzen ist schädlich, da sich dann das Pulver zusammenballt. Endlich deckt man wieder mit einem Deckglase, nötigenfalls unter Zufügen eines weiteren Tropfens Kanadabalsam.

6. Beim Schleifen von Kalksteinen und Dolomiten nahm Pfaff[1]) den letzten Teil des Dünnschleifens nicht auf der Schleifplatte vor, sondern bediente sich dazu eines weichen Korkens, mit dem er unter Benutzung feinsten geschlämmten Schmirgels das Präparat bis zur vollkommenen Durchsichtigkeit bearbeitete. Für das Gelingen ist es Vorbedingung, daß das Schliffstück an den Rändern vollkommen mit Kanadabalsam umgeben ist. Dieselbe Methode wird auch für Tonschieferschliffe empfohlen.

Bei der Anfertigung von Dünnschliffen von Schaumkalk verfuhr Bornemann[2]) in folgender Weise: Von dem Gestein wird zunächst mittels der Scheibe und Schmirgel eine 3—4 mm dicke Platte geschnitten, diese rein abgespült und auf einer matten Glasplatte auf beiden Seiten eben geschliffen, während durch einen kontinuierlichen Wasserstrahl auf der schräggestellten Platte jede Ansammlung von Schleifpulver vermieden wird. Die so vorbereitete Platte wird vorsichtig getrocknet und sodann auf der einen Seite mit reinem Kanadabalsam überzogen. Dieser wird langsam gedörrt, so daß sich die Poren der einen Seite völlig mit hartem Balsam erfüllen und auch die Außenfläche noch leicht von Balsam bedeckt bleibt, auch die Luftblasen beseitigt werden. Nach dem langsamen Erkalten schleift man die Balsamschicht zuerst auf einer reinen Glasplatte, alsdann auf einem feinen, ganz ebenen Abziehstein, den man unter einen kontinuierlichen Wasserstrahl hält, so weit ab, daß die Gesteinsfläche eben wieder frei wird. Nach dem Abtrocknen bringt man auf diese Fläche einen Tropfen frischen Balsams, erwärmt bis zum anfangenden Erhärten und kittet die Platte auf einen reinen Objektträger fest auf. Das Präparat wird sodann dünn geschliffen, zuerst unter Anwendung von Schmirgel und viel Wasser; aber sobald die Dicke unter 1 mm herabsinkt, wird das Feinschleifen lediglich auf der reinen Glasplatte und dem Abziehstein bei kontinuierlicher Abspülung vorgenommen. Ist die nötige Dünne erreicht, so spült man ab, trocknet und legt das Deckglas mittels Balsam auf, den man durch Chloroform verdünnt hat. — Kanadabalsam und Chloroform enthalten oftmals Unreinigkeiten, besonders zarte, kaum bemerkbare Fragmente von Kork (von Korkstöpseln herrührend), welche leicht in die Poren der Präparate eindringen und zu Irrtum Veranlassung geben können. Es ist daher nötig, die angewandten Substanzen auf ihre Reinheit zu prüfen oder sie durch Filtrieren zu reinigen, und zu ihrer Aufbewahrung nur Glasgefäße mit eingeriebenen Glasstöpseln zu verwenden. — Auf diese Weise gelingt es, die zartesten, in manchen Poren des Schaumkalks lose eingeschlossenen Körper sichtbar zu machen, welche sich sonst der Beobachtung hartnäckig entziehen. Aus ganz geöffneten Poren werden solche mikroskopische Körper im gewöhnlichen Falle

[1]) Sitzungsber. d. k. bayr. Akad. zu München, 1882. S. 562.

[2]) Jahrb. d. preuß. geol. Landesanstalt f. 1885. S. 282—283.

stets herausfallen und zu Grunde gehen; wenn aber eine Pore beim Anschleifen nur zum kleinen Teil geöffnet ist, oder mehrere Poren durch kleine Öffnungen miteinander in Verbindung stehen, so wird der eindringende Balsam die losen Körperchen umgeben, durchdringen und in ihrer Lage festhalten.

7. Herstellung von Dünnschliffen fossiler Kohlen resp. Kohlenwasserstoffe[1]). Um die für die Herstellung von Dünnschliffen erforderlichen dünnen Platten zu gewinnen, genügt bei den zur Schieferungsfläche parallelen Platten oft das Messer zur Abspaltung oder eine Säge mit feiner Zahnung. Will man jedoch Platten rechtwinklig zur Schieferungsfläche herstellen, so empfiehlt es sich, zuerst eine glatte Fläche anzuschleifen, auf diese mit Kanadabalsam ein Blättchen starkes Schreibpapier aufzukleben und erst dann die Platte in einer Dicke von 3—4 mm parallel zur angeschliffenen Fläche mittels einer feinen Säge oder der Diamantkreissäge mit Wasser abzusägen. Um die Platten weiter zu verdünnen, bedient man sich am besten der Bleischeibe und ziemlich feinen Schmirgels mit Wasser, läßt aber bei allen brüchigen Kohlenplatten das aufgeklebte Papierstückchen sitzen, bis die Platte zum Aufkitten auf den Objektträger fertig ist. Hat man die Platten so weit verdünnt, so erlangt man die aufzukittende ebene glatte Fläche am besten durch recht leichtes Schleifen mit dem feinsten geschlämmten Schmirgel auf einer matten Glasplatte mit ebener Oberfläche. Es folgt nun das Austrocknen der Platten. Es ist dies derjenige Teil der Prozedur, dessen Vernachlässigung sich am schwersten bestraft, und bei dem die größte Sorgfalt nötig ist. Nur wenige Kohlen sind ganz dicht, die meisten vielmehr porös und von einer Menge feiner und feinster Spalten und Löcher durchzogen. In diese Hohlräume treibt die Kapillarattraktion das Wasser, das man vor dem Aufkitten durch Erwärmen verjagen muß. Es gelingt das am einfachsten, wenn man die Platten mit der glattgeschliffenen Fläche nach oben auf eine recht dünne Glasplatte legt und nun wiederholt auf einer Spiritusflamme erhitzt. Hierbei löst sich meist von selbst das angeklebte Papierstückchen ab. Glaubt man nun, daß das Wasser ausgetrieben ist, so bringt man auf die noch warme Platte erwärmten Kanadabalsam und erhält sie noch einige Zeit in einer Temperatur von 130—135° R., also nahe unter dem Siedepunkt des Kanadabalsams. Es ist dies notwendig, um den Kanadabalsam in die Poren und Risse der Platte eindringen zu lassen. Viel bequemer und sicherer verfährt man jedoch, wenn man den Fahrschen heizbaren Tisch mit Thermometer zum Decken der Dünnschliffe benutzt, da man hier die Temperatur durch die stellbare Spirituslampe gut regulieren kann. Versäumen darf man jedoch nicht, die Platten mit der oben erwähnten dünnen Glasplatte auf den Tisch zu bringen, da sich auch bei aller Vorsicht das Überfließen von Kanadabalsam nicht ganz vermeiden läßt. Ist nun die aufzukittende Fläche der Platten gut mit Kanadabalsam getränkt, so nimmt man sie vom Tische und legt die Objektträger auf, versieht diese mit nicht mehr Kanadabalsam, als nötig, um die Platte haften zu lassen, und überträgt nun die Platten auf die Objektträger. Alsdann drückt man sie mit einem erwärmten flachen Spatel vorsichtig an, um den Kanadabalsam zwischen Platte und Objektträger bis auf eine möglichst dünne Schicht zu entfernen, und läßt erkalten. Um sicher zu gehen, muß man sich vor der Prozedur vom Siedepunkte seines Kanadabalsams genau unterrichten und danach die Temperatur regeln, da der käufliche Kanadabalsam nicht stets den gleichen Siedepunkt von 145° R. hat. Sind zwischen Platte und Objektträger Luftbläschen zurückgeblieben,

[1]) Fischer und Rüst, Über das mikroskopische und optische Verhalten verschiedener Kohlenwasserstoffe, Harze und Kohlen. Zeitschr. f. Kristallogr. u. Min., 1883. Bd. 7, S. 215.

so geht der Schliff beim Dünnschleifen unfehlbar verloren. Ebenso verderblich ist es jedoch, wenn die Platte nicht genügend ausgetrocknet war und Feuchtigkeit zwischen Platte und Objektträger zurückblieb. Diese ist leicht an der feinen dendritischen Zeichnung zu erkennen. In beiden Fällen bleibt nichts anderes übrig, als die Platte wieder abzunehmen und nach erneuter Abtrocknung von neuem aufzukitten. Luftbläschen lassen sich oft durch Andrücken nach erneutem Erwärmen entfernen. Eine besondere Schwierigkeit bereiten fast alle Braunkohlen, sowie die Kannel- und sogenannten Bogheadkohlen dadurch, daß sie sich beim Erwärmen ziehen und in feinen Plättchen sogar aufrollen. Man sucht dieser unangenehmen Eigenschaft durch Bedecken des Plättchens mit Seidenpapier und Pressen zwischen dicken Glasplatten zu begegnen, was oft recht viele Mühe macht. Ist das Aufkitten gelungen und der Kanadabalsam erhärtet, wovon man sich überzeugt, wenn sein unter dem Plättchen herausgetriebener Rand keinen Eindruck von dem Fingernagel mehr annimmt, so kann man das Plättchen wieder auf der Bleischeibe mit feinem Schmirgel bis auf die Dicke von 1 mm wegschleifen. Das Dünnschleifen geschieht dann wieder mit recht wenig feinstem, geschlämmten Schmirgel und Wasser auf der Glasplatte unter häufiger Betrachtung durch das Mikroskop und hat bei gehöriger Vorsicht und Vermeiden jeden Druckes keine Schwierigkeit. Auch beim Decken der Kohlendünnschliffe darf man nicht wie beim Decken der Gesteinsdünnschliffe verfahren. Sie vertragen kein Abwaschen mit Alkohol; man muß sie in Wasser abpinseln und dann mit dem Messer den überschüssigen Kanadabalsam, der meist durch hineingeriebene Kohlenpartikelchen braun gefärbt ist, bis an den Rand des Plättchens entfernen. Beim Decken darf die Erwärmung nur so gering sein, daß der Schliff sich nicht vom Objektträger löst, weil er dann beim Andrücken des Deckgläschens in kleine Partikel zerbröckelt.

8. Schliffe von Erzen, Metalllegierungen, Meteoriten kommen für den Geologen selten in Betracht. Es sei nur auf die entsprechende Literatur verwiesen:

E. Cohen, Meteoritenkunde, Heft 1. Stuttgart 1894. S. 25 (dort auch weitere Literaturangaben).

H. Behrens, Mikrochemische Analyse, 2. Aufl. Hamburg und Leipzig 1899. S. 194 ff., 199.

— Mikrochemische Technik. Hamburg und Leipzig 1900. S. 57—61.

— Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. Hamburg u. Leipzig 1894.

J. E. Stead, Micro-Metallography with practical demonstration. Journ. of the Royal micr. society 1905. 2. 274—283.

F. Rinne, Physikalisch-chemische Bemerkungen über technisches und meteorisches Eisen. N. Jahrb. f. Min., 1905. I. 122—158.

F. Rinne, Ein 1831 bei Magdeburg gefundenes Eisen, N. J. f. Min., 1906. II. 61—89 (enthält genaue Angaben über die Untersuchung).

Steinschneidemaschinen.

Wenn man von einem Gestein oder Mineral einen Dünnschliff haben will, der einer gewünschten Richtung entspricht, beispielsweise rechtwinklig oder parallel zur Schichtung, oder bei einem Ganggesteine quer zum Streichen, oder bei einem Minerale parallel oder senkrecht zu irgend einer Achse oder Kristallfläche, so muß man als vorbereitende Arbeit aus dem Mineral oder

Gestein eine Platte herausschneiden, welche die gewünschte Orientierung besitzt. Zu dieser Arbeit bedient man sich einer der zahlreichen Steinschneidemaschinen, Hilfsapparate, die es in den verschiedensten Konstruktionen gibt. Es ist an dieser Stelle unmöglich, in eine eingehende Besprechung ihres Gebrauches einzutreten. Ich muß mich vielmehr begnügen mit einer Angabe der in der Literatur vorhandenen Beschreibungen solcher Maschinen:

G. Steinmann, Eine verbesserte Steinschneidemaschine. Neues Jahrb. f. Min., 1882. II. S. 46—54.

J. Rumpf, Eine Kabinettsschneidemaschine. Tschermaks min. Mitt., 1881. IV. S. 409—414.

H. Rauff, Über eine verbesserte Steinschneidemaschine, sowie über einen von M. Wolz in Bonn konstruierten, damit verbundenen Schleifapparat zur Herstellung genau orientierter Kristallplatten. Verh. d. Nat.-Ver. f. Rheinl.-Westf. 1886. Bd 43. Korr.-Bl. S. 130—139; Neues Jahrb. f. Min., 1888, II. S. 230—246.

R. Fueß, Über eine Orientierungsvorrichtung zum Schneiden und Schleifen von Mineralien nach bestimmten Richtungen. Neues Jahrb. f. Min., 1889. II. S. 181—185.

G. H. Williams, A new machine for cutting and grinding thin sections of rocks and minerals. John Hopkins' Univ. Circ., 1886. XII. Nr. 103. 47; Amer. Journ. of science 1893. (3) XLV. S. 102—104.

Tutton, Ein Apparat zum Schneiden, Schleifen und Polieren genau orientierter Kristallplatten und Prismen. Zeitschr. f. Kristallogr., 1896. 25. S. 79—85.

C. Leiß, Die optischen Instrumente der Firma R. Fueß. Leipzig 1899. S. 267—279.

E. A. Wülfing, Über einen Apparat zur vereinfachten Herstellung orientierter Kristallschliffe. Neues Jahrb. f. Min., 1901. Bd. II. 1—22.

Wülfing in Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., 4. Aufl., 1904. I. 1. S. 115 ff.

Kapitel 76.

Das mineralogische Mikroskop.

Das mineralogische Mikroskop soll an der Hand der Figuren 298—299 einer kurzen Besprechung unterzogen werden. Eine ausführliche Behandlung ist in diesem Werke nicht möglich. Eingehendere Angaben über mineralogische Mikroskope finden sich in folgenden Werken:

Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., 4. Aufl. Stuttgart, 1904. I. 1.

Rinne, Das Mikroskop im chemischen Laboratorium. Elementare Anleitung zu einfachen kristallographisch-optischen Untersuchungen. Hannover 1900.

Weinschenk, Anleitung zum Gebrauche des Polarisationsmikroskops, 2. Aufl. Freiburg i. Br. 1906.

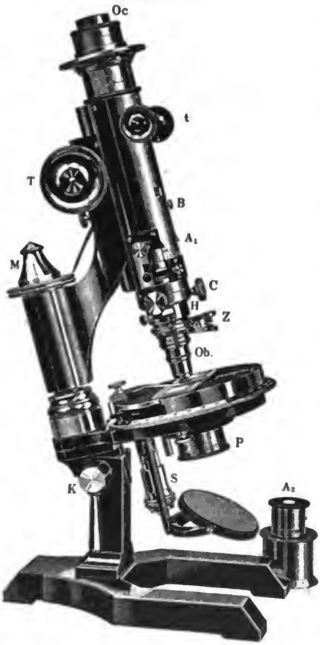
Duparc et Pearce, Traité de technique minéralogique et pétrographique. Première Partie: les méthodes optiques. Leipzig 1907.

C. Leiß, Die optischen Instrumente der Firma R. Fueß, deren Beschreibung, Justierung und Anwendung. Leipzig 1899.

Hauptbezugsquellen für mineralogische Mikroskope: Zeiß-Jena, Seibert-Wetzlar, Leitz-Wetzlar, Voigt & Hochgesang-Göttingen, Fueß-Steglitz bei Berlin.

Ein einfacheres, aber für alle wesentlichen Zwecke genügendes Mikroskop ist in Figur 298, der Strahlengang, sowie die innere Einrichtung in Figur 299 dargestellt. Die Beleuchtung erfolgt durch einen Spiegel (auf der einen Seite eben, auf der anderen konkav). Der Beleuchtungsapparat *P* enthält ein Nicolsches Prisma, welches das von dem Spiegel (rechts unter *S*) reflektierte Licht in geradlinig-polarisiertes umwandelt in der Weise, daß nur der außerordentliche Lichtstrahl aus dem Nicolschen Prisma austritt. Der Beleuchtungsapparat muß gesenkt werden können, was bei dem hier abgebildeten Instrumente durch eine Schraube *S* ermöglicht ist. Der Objekttisch muß bei allen für mineralogisch-petrographische Untersuchungen eingerichteten Mikroskopen drehbar eingerichtet und mit einer Gradeinteilung versehen sein. Die Drehung ist an einer Marke, eventuell mit Nonius, ablesbar. Das Objektiv ist auswechselbar, bei unserer Abbildung durch eine Objektivzange *Z*, bei anderen Mikroskopen durch eine Revolverfassung, bei anderen endlich anschraubbar (weniger empfehlenswert). Der Tubus ist verschiebbar; grobe Einstellung mit Zahn und Trieb durch Schraube *T*, feine Einstellung durch die Mikrometerschraube (Feinstellschraube) *M*. Ein zweites Nicolsches Prisma, der Analysator A_1 ist in den Tubus ein- und ausschiebbar. Es empfiehlt sich nur zu wenigen Zwecken, einen aufsetzbaren Nicol, wie er an der Figur, seitwärts stehend (A_2), abgebildet ist, zu verwenden. Als Hilfsapparate sind unbedingt notwendig: 1. eine Vorrichtung zur Beobachtung im konvergenten polarisierten Lichte, (a. Kondensorlinse zum Einlegen in den Beleuchtungsapparat, b. Bertrandsche Linse *B*, einschiebbar in den Schlitz und durch die Schraube *t* zusammen mit dem Okular in dem Tubus ver-

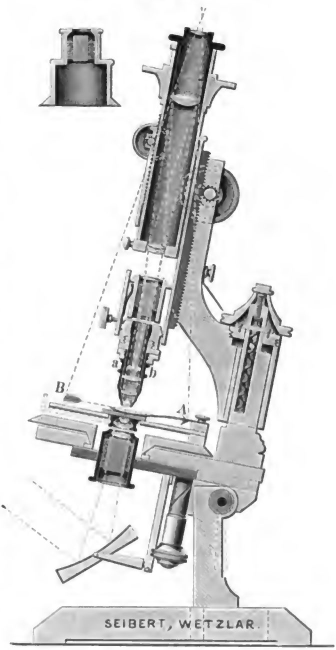
Fig. 298.



schiebbar); 2. ein Gipsblättchen vom Rot erster Ordnung, bezw. ein Viertelundulationsglimmerblättchen oder ein Quarzkeil.

Die Bewegung des Lichtes erfolgt in der Weise, daß das Objektiv von dem Gegenstande, welcher in etwas größerer Entfernung von dem Objektive absteht, als dessen Brennweite beträgt, ein vergrößertes reelles Bild in umgekehrter Stellung entwirft. Das Okular muß diesem Bilde näher gerückt sein, als seine Brennweite beträgt. Dann wird durch das Okular von dem reellen Bilde ein virtuelles Bild in *A B* entworfen, das immer noch gegenüber dem Objekt in umgekehrter Stellung sich befindet.

Fig. 299.



Das Objektiv muß mit einem Fadenkreuze versehen sein. Die Fäden müssen parallel den Schwingungsrichtungen der beiden Nicols orientiert sein, was im allgemeinen von den auf Seite 671 genannten Firmen richtig besorgt wird, so daß, wenn es sich nicht um besondere Verhältnisse handelt, die Orientierung der Fäden ausreicht.

Die Wiederauffindung bestimmter Stellen eines Dünnschliffes gelingt am besten, wenn man die Teilung benutzt, die auf den drehbaren Objekttischen immer in zwei senkrecht zueinander befindlichen Richtungen angebracht sein muß (in Figur 298 noch sichtbar). Man gewöhne sich, den Schliff immer in gleicher Richtung zu legen, etwa so, daß über und rechts von der Schrift des Schliffetikettes sich die Teilung auf dem Objekttisch befindet. Man braucht dann nur die Teilstriche anzugeben, an denen der Schliff abschneidet, und kann ihn danach auch leicht auflegen, um die gewünschte Stelle wieder zu finden. Man kann auch die wiederzufindenden Stellen auf dem Deckglase mit einem Tintenring umgeben oder sich eines der Objektmarkierer bedienen, wie sie von den Mikroskophandlungen geliefert werden.

Kapitel 77.

Bestimmung der Brechungsindices von Mineralkörnern und im Dünnschliff.

A. Relief. Eine der wichtigsten Beobachtungen, die man bei durchfallendem Lichte, ohne Anwendung des Analysators, macht, ist die auf den verschiedenen Brechungsindices der einzelnen Substanzen beruhende. Wir haben davon schon früher Gebrauch gemacht (S. 667). Betrachtet man verschiedene in Kanadabalsam (Brechungsexponent des getrockneten Kanadabalsams etwa 1,54) eingebettete Mineralien, wie z. B. Hauyn (Brechungsexponent n = 1,503), Quarz (n = 1,544—1,553) und Olivin (n = 1,661—1,697), so wird man die Ränder des Quarzes kaum, die von Hauyn und Olivin dagegen sehr gut bemerken. Im allgemeinen erscheint ein Mineral in einem anderen Medium nur mit zartem Rande, wenn die Brechungsindices beider ungefähr gleich sind; der Rand erscheint sehr deutlich, wenn die Brechungsindices stark abweichen. Es ist dies eine Folge der Totalreflexion, welche an der Grenze verschiedener Medien, beim Übergange des Lichtes aus einem optisch dichteren in ein weniger dichtes Medium, eintritt. Man muß deshalb zur Beobachtung der inneren Eigenschaften eines Minerals dieses immer in ein Medium von ungefähr gleichem Brechungsindex einbetten. Da nun Quarz ungefähr die mittlere Lichtbrechung der wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien besitzt, hat man ein Medium von einer ihm ungefähr gleichen Lichtbrechung, eben den Kanadabalsam, zur Einbettung der Dünnschliffe genommen.

Die Totalreflexion tritt nicht nur an den Rändern der Schliffe, sondern an der ganzen Oberfläche ein, da die Schliffe nicht völlig eben, sondern rauh sind (sie dürfen nicht poliert werden). Erst recht gilt dies von den Körnern, die wir etwa nach einer mechanischen Trennung aus Sanden isoliert und in Kanadabalsam eingebettet haben. Diese unregelmäßige Oberfläche tritt durch die Einwirkung der Totalreflexion deutlich in jedem abweichenden Medium hervor. Die Oberfläche von Quarz erscheint auch rauh, wenn wir den Schliff statt in Kanadabalsam z. B. in Wasser einbetten. Die unregelmäßige rauhe Fläche, das sogenannte Relief, tritt noch deutlicher hervor, wenn wir den Beleuchtungsapparat (mit der Schraube *S*) senken, vielleicht auch noch eine Kondensorlinse auf den Beleuchtungsapparat, nach völligem Senken und Zurseiteklappen desselben, auflegen. Dadurch wird der Beleuchtungskegel eingeengt, das Relief verschärft. Es tritt dies in verschiedener Weise ein. Man kann sich des folgenden, von Weinschenk[1]) entlehnten Schlüssels bedienen.

[1]) Tabellen zu „Gesteinsbildende Mineralien". 2. Aufl.

Bestimmung der Lichtbrechung n in den in Kanadabalsam eingebetteten Präparaten.

1. Relief und rauhe Oberfläche schon bei völlig gehobenem Kondensor deutlich	n = ca. 2 und darüber
2. Relief wird bei der Senkung um 1–2 mm deutlich	n = ca. 1,8
3. Relief erst bei stärkerer Senkung deutlich	n = ca. 1,7 bis 1,6
4. Erst bei völliger Senkung deutliches Relief; beim Heben des Tubus Lichtschein[1]) n. innen	n = 1,6–1,55
5. Überhaupt kein Relief	n = ca. 1,54
6. Bei stark gesenktem Kondensor Relief; Lichtschein[1]) b. Heben des Tubus nach außen	n < 1,54

Ein anderer Schlüssel ist von Michel Lévy und Lacroix aufgestellt worden[2]).

B. Genauere Bestimmungen gestattet die Methode von Schroeder van der Kolk[3]), die ganz besondere Beachtung verdient, namentlich für die Bestimmung feiner Körner aus Tonen, Sanden etc., aber auch für kleine Bruchstücke von Mineralien, an denen sonstige Beobachtungen etwa ausgeschlossen sind. Diese Methode darf als eines der wichtigsten Kennzeichen bei der Mineralbestimmung betrachtet werden.

Sie beruht auf der Einbettung des Minerals in verschiedene Flüssigkeiten von wechselndem Brechungsindex (daher Einbettungsmethode). Die Erklärung muß hier übergangen werden, ist aber einfach[4]). Man nimmt auf einen Objektträger einige Körnchen der zu untersuchenden Substanz und setzt daneben einen Tropfen der Flüssigkeit, schiebt dann die Körnchen mit einer Nadel in den Tropfen, aber so, daß die Körnchen völlig untertauchen. Es wird sodann ein Blech oder ein Stück schwarzen Papiers unter den Objektträger oder zwischen Spiegel und Beleuchtungsapparat geschoben und so weit vorgeschoben, bis der Schatten an den Körnern vorbeiwandert. Wenn die Blende (Blech, Papier) an die Körner herankommt, zeigen sich dunkle und helle Ränder, oft auch nur eine Aufhellung auf der einen Seite der Körner. Zu unterscheiden sind drei verschiedene Fälle, wobei wir die Bildumkehrung bei der Beobachtung mit dem Mikroskop zu berücksichtigen haben:

1) Über den Lichtschein vgl. S. 678.

2) Michel Lévy et Lacroix, Tableaux des minéraux des roches. Paris 1889. — Duparc et Pearce, Traité de technique minéralogique et pétrographique. Leipzig 1907. S. 394–395.

3) Ausführlichere Darstellung in: Schroeder van der Kolk, Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung der Mineralien nach ihrem Brechungsindex. 2. Aufl. Wiesbaden 1906.

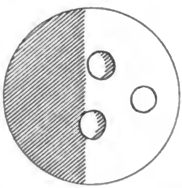
4) Außer bei Schroeder van der Kolk (s. oben) finden sich nähere Angaben bei Rosenbusch-Wülfing, Mikrosk. Physiogr., I; Duparc et Pearce; Weinschenk, Polarisationsmikroskop, 2. Aufl.

1. Beim Einschieben der Blende Randverdunklung auf der der Blende abgewandten Seite: Brechungsindex des Kornes höher wie der der Flüssigkeit (Fig. 300).

2. Beim Einschieben der Blende Randverdunklung auf der der Blende zugewandten Seite des Kornes: Brechungsindex des Kornes kleiner wie der der Flüssigkeit (Fig. 301).

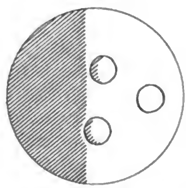
3. Beim Einschieben der Blende Buntfärbung des Minerals (rot an dem der Blende zugewandten Rande): Brechungsindex von Korn und Flüssigkeit ungefähr gleich (Fig. 302)[1].

Fig. 300.



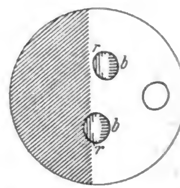
Körnerindex $>$ Flüssigkeitsindex. Die Körner nahe am Rande des Schattens der Blende haben den Vorderrand hell.

Fig. 301.



Körnerindex $<$ Flüssigkeitsindex. Die Körner nahe am Rande des Schattens der Blende haben den Vorderrand dunkel. Zwischen diesem dunklen Rande und dem Schatten der Blende helle Zone.

Fig. 302.



Körnerindex = Flüssigkeitsindex. Die Körner nahe am Rande des Schattens der Blende haben den Vorderrand rot, den Hinterrand blau. Bei annähernder Gleichheit ist nur ein gelber oder orangefarbener Lichtschein an den einzelnen Unregelmäßigkeiten der Kornoberfläche zu beobachten.

Zur ersten Übung wird man am besten folgende Versuche machen:

Quarz in Benzol (Fig. 300),
Quarz in Nitrobenzol (Fig. 302),
Schwerspat oder Salmiak in Monobromnaphthalin (Fig. 302),
Quarz in Bromoform (Fig. 301).

Als Flüssigkeit ist zunächst Thouletsche Lösung (Kaliumquecksilberjodidlösung, vgl. S. 573—575) vorgeschlagen worden, der man durch Verdünnen mit Wasser die Brechungsindizes von 1,73—1,33 geben kann. Der Brechungsindex läßt sich hier in einfacher Weise aus dem spezifischen Gewichte berechnen. Die hergestellten verdünnten Lösungen verändern aber durch Verdunstung des Lösungsmittels (Wasser) fortgesetzt sowohl spezifisches Gewicht wie Brechungsindex, so daß eine Neubestimmung immer

[1]) Es ist zweckmäßig, in der Figur die mit *r* bezw. *b* bezeichneten Stellen mit einem Farbstifte rot bezw. blau anzumalen.

wieder nötig ist. — Es ist deshalb sehr viel besser, Flüssigkeiten von ganz konstanter Zusammensetzung zu nehmen, die außerdem möglichst gegenüber Licht und Luft unveränderlich sind. Immerhin muß man die Flüssigkeiten geschützt gegen Licht aufbewahren. Schroeder van der Kolk hat eine große Zahl von Flüssigkeiten vorgeschlagen, von denen folgende besonders brauchbar sind:

n =	
1,447	Äthylenchlorid
1,462	Lavendelöl
1,466	Tetrachlorkohlenstoff
1,469	Olivenöl
1,495	Xylol
1,501	Benzol
1,502	Zedernholzöl
1,521	Monochlorbenzol
1,538	Äthylenbromid
1,542	Nelkenöl
1,551	Nitrobenzol
1,559	Monobrombenzol

n =	
1,597	Bromoform
1,600	Zimmtöl
1,618	Monojodbenzol
1,634	α-Monochlornaphtalin
1,648	α-Monobromnaphtalin
1,680	Mischung gleicher Volumina von Monobromnaphtalin und Jodmethylen
1,740	Jodmethylen
1,795	gesättigte Lösung von Schwefel in Jodmethylen

Die Flüssigkeiten sind so ausgesucht, daß man in ihnen auch viele in Wasser lösliche Substanzen bestimmen kann, wie z. B. die Mineralien der Salzlagerstätten.

Wenn man nacheinander das zu untersuchende Korn in diese verschiedenen Flüssigkeiten bringt, so kann man in kurzer Zeit den Brechungsindex bestimmen. Natürlich muß man zwischendurch reinigen, wozu man am besten immer eine Flasche mit Xylol zur Hand hat. Will man noch höhere Brechungsindices benutzen, so kann man noch nehmen: Schwefel, geschmolzen bei 110°, n = 1,93, Phosphor, flüssig n = 2,075 (fest 2,144).

Die angegebenen Flüssigkeiten werden mit besonderer Gebrauchsanweisung von der Firma Dr. Fr. Krantz in Bonn in kleinen Fläschchen, in Holzkasten gegen Licht geschützt, in den Handel gebracht. Natürlich kann man sich die Serie auch selbst herstellen.

Will man die Brechungsindices der Flüssigkeiten prüfen, so kann man die Methode entweder umgekehrt anwenden und von Mineralien mit bekanntem Brechungsindex ausgehen, oder man bestimmt sie mit einem Totalreflektometer oder man verwendet die von V. de Souza-Brandào empfohlene Skala von Lichtbrechungsindikatoren[1]).

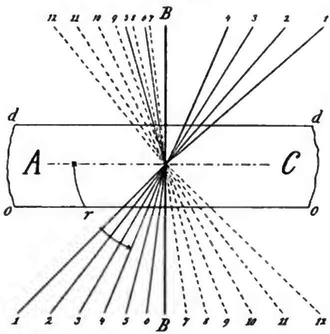
Die Methode ist auch für Dünnschliffe anwendbar, nur dürfen diese nicht in Kanadabalsam eingebettet sein. Man verwendet deshalb nur halb gedeckte Schliffe (vgl. S. 664) oder entfernt das Deckglas nach dem Auflösen des Kanadabalsams in Xylol oder Benzol; man muß natürlich dafür sorgen,

[1]) Zentralbl. f. Min., 1904. 14—18.

daß das Mineral völlig freiliegt und mit der Flüssigkeit gut in Berührung kommt.

C. *Die Beckesche Methode* kommt vorwiegend für Dünnschliffe in Betracht. Sie beruht ebenfalls auf Erscheinungen der Totalreflexion. *oodd* (Fig. 303) sei ein Querschnitt durch einen Teil eines Dünnschliffes, in dem zwei Mineralien *A* und *C* an der Linie *B B*, senkrecht zur Ober- und Unterfläche des Schliffes, aneinander stoßen. *A* sei das stärker, *C* das schwächer lichtbrechende Mineral. Das von unten kommende Strahlenbündel geht zum Teil in gleicher Richtung durch (auf die eintretende Brechung ist in der Figur keine Rücksicht genommen). Die Strahlen 7—12, die von der Seite des schwächer lichtbrechenden Minerales kommen, können keine Totalreflexion erleiden. Die Strahlen dagegen, die von links, von dem stärker lichtbrechenden Minerale kommen, erleiden zum Teil eine Totalreflexion. Die Strahlen 5, 6 von links, deren Einfallswinkel den Grenzwinkel *r* der Totalreflexion übersteigt, werden nach links reflektiert. Dadurch wird die Summe des Lichts auf der linken Seite der Grenze der beiden Mineralien vergrößert. Betrachten wir das Präparat von oben durch das Mikroskop, so erscheint auf der Seite des stärker lichtbrechenden Minerals ein heller Lichtschein[1]). Die Erscheinung wird deutlicher, wenn man den Beleuchtungsapparat ein wenig senkt, wodurch die äußersten Randstrahlen 1—3, 12—10 abgeblendet werden. Hebt man anderseits den Tubus mit der Mikrometerschraube, so wird der Lichtschein auf der Seite des stärker lichtbrechenden Minerals (ebenfalls durch Abschneiden der Randstrahlen) vergrößert. Das Licht wandert scheinbar nach dort. Daraus folgt die Regel: *Beim Heben des Tubus wandert der Lichtschein (Beckesche Linie) in der Richtung nach dem stärker lichtbrechenden Minerale.* Beim Senken des Tubus tritt die entgegengesetzte Verschiebung ein. Diese *Becke*sche Methode ist namentlich zur Unterscheidung der verschie-

Fig. 303.



1) Vgl. die Tabelle S. 675.

denen Feldspäte gut brauchbar, indem man Ränder der Feldspäte gegen Kanadabalsam oder besser noch gegen Quarz beobachtet. Sowohl mit der Schroeder van der Kolkschen, wie mit der Beckeschen Methode ist es bei einiger Übung auch möglich, die verschiedenen Brechungsindices optisch ein- und zweiachsiger Kristalle zu bestimmen, doch kommen derartige Bestimmungen nur für den geübteren Petrographen in Frage und brauchen hier nicht besprochen zu werden.

Die genaueren Methoden zur Bestimmung des Brechungsindex können hier nicht erläutert werden.

D. Tabelle der Brechungsindices der wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien.

Die folgende Tabelle ist zusammengestellt unter Benutzung der ähnlichen Tabellen von Rosenbusch-Wülfing, Weinschenk, Schroeder van der Kolk. Bei doppelbrechenden Mineralien ist, den hier zu Grunde gelegten vereinfachten Verhältnissen entsprechend, der Durchschnittsbrechungsexponent genommen. Zugefügt sind die Brechungsexponenten der Lösungen, die zur Bestimmung nach der Einbettungsmethode benutzt werden können. Die Werte der Brechungsindices dieser Lösungen sind Schwankungen, je nach der Herstellung und Aufbewahrung, unterworfen. Die wichtigeren dieser Lösungen sind mit einem * versehen.

Eisenglimmer	3,08
Rutil	2,71
Brookit	2,637
Anatas	2,537
Perowskit	2,38
Chromit	2,097
Phosphor geschmolzen	*2,075*
Cassiterit	2,029
Titanit	1,963
Zirkon	1,952
Schwefel, geschmolzen, bei 110°	*1,93*
Melanit	1,856
Fayalit	1,854
* *Schwefel in Jodmethylen*[1]	*1,83*
Spessartin	1,811
Monazit	1,811
Almandin	1,810
Eisenspat	1,793
Ägirin	1,792
Korund	1,766
Hussakit	1,752
Epidot	1,751
Grossular	1,744
Pyrop	1,744
Staurolith	1,741
* *Jodmethylen*	*1,740*
Vesuvian	1,723
Disthen	1,723
Diaspor	1,723
Basaltische Hornblende	1,719
Spinell	1,718
Augit	1,708
Zoisit	1,702
Ägirinaugit	1,692
Titanolivin	1,683
Diopsid	1,683
Mischung gleicher Volumina von Monobromnaphtalin und Jodmethylen	*1,680*
Orthit	1,68
Olivin	1,671
Hypersthen	1,670
Bronzit	1,669
Sillimanit	1,666

[1]) Bei nicht genügender S-Menge niedriger.

Enstatit	1,662
**α-Monobromnaphtalin*	*1,655**
Turmalin	1,650
Rosenbuschit	1,65
Gemeine Hornblende	1,648
Magnesit	1,646
Andalusit	1,638
Apatit	1,637
Acetylentetrabromid	*1,636*
Anthophyllit	1,634
**α-Monochlornaphtalin*	*1,634*
Glaukophan	1,633
Aragonit	1,633
Melilith	1,632
Prehnit	1,630
Schwefelkohlenstoff	*1,627*
Wollastonit	1,627
Aktinolith	1,626
Dolomit	1,623
**Monojodbenzol*	*1,619*
Topas	1,619
Chinolin	*1,615*
Tremolit	1,614
Pektolith	1,61
Eudialyt	1,609
**Zimmtöl*	*1,605*
Calcit	1,601
Biotit	1,598
Monochloranilin	*1,592*
Phlogopit	1,591
**Bromoform*	*1,590—1,597*
Natriumnitrat	1,59
Klinochlor	1,589
Anhydrit	1,586
Allyltribromid	*1,585*
Muscovit	1,584
Mejonit	1,583
Anilin	*1,583*
Anorthit	1,582
Talk	1,572
Orthotoluidin	*1,571*
Brucit	1,567
**Monobrombenzol*	*1,559*
Mizzonit	1,553
**Nitrobenzol*	*1,551*
Bastit	1,550
Chalcedon	1,55
Heulandit	1,550
Andesin	1,55
Cordierit	1,548
Quarz	1,547
**Nelkenöl*	*1,542*
Hydrargillit	1,542
Nephelin	1,540
Kaolinit	1,54
Steinsalz	1,54
**Äthylenbromid*	*1,538*
Albit	1,535
Gips	1,524
Orthoklas	1,523
**Monochlorbenzol*	*1,521*
Cancrinit	1,514
Kaliumnitrat	1,51
Thomsonit	1,509
Leucit	1,508
Hauyn	1,503
**Zedernholzöl*	*1,502*
Skolezit	1,502
Stilbit	1,497
**Toluol*	*1,496*
Glaserit	1,49
Chabasit	1,49
Sylvin	1,49
Analcim	1,488
**Xylol*	*1,487*
Sodalith	1,483
Natrolith	1,481
Faujasit	1,48
Rizinusöl	*1,478*
Tridymit	1,478
**Bucheckernöl*	*1,475*
Carnallit	1,47
Kainit	1,47
**Olivenöl*	*1,469*
Aluminit	1,47
**Tetrachlorkohlenstoff*	*1,466*
**Lavendelöl*	*1,462*
Nosean	1,46
**Äthylenchlorid*	*1,447*
Opal	1,443
Fluorit	1,433
Kieserit	1,43
Eis	1,309

Kapitel 78.

Mikroskopische Beobachtungen im gewöhnlichen Lichte.

Der Brechungsindex des zu untersuchenden Minerales ist unter dem Mikroskope zuerst am leichtesten erkennbar, wie im vorhergehenden Kapitel eingehender auseinandergesetzt wurde. Man wird daneben die Form, die Größe, die Farbe und den Glanz zur Erkennung der einzelnen Mineralien heranziehen. Zur Bestimmung der Form wird man die Winkelmessung benutzen müssen, wobei man immer darauf zu achten hat, daß man nur in seltenen Fällen im Dünnschliffe einen Schnitt vor sich hat, dessen Winkelverhältnisse direkt zur Bestimmung etwa der Kantenwinkel des einzelnen Kristalles benutzt werden können. Man wird zahlreiche Schnitte durch das gleiche Mineral vergleichen müssen, um daraus bestimmte Schlüsse auf die Winkelwerte ziehen zu können. Zur Winkelmessung ist ein Okular mit Fadenkreuz zu benutzen.

Der Objekttisch muß, wie an allen brauchbaren mineralogischen Mikroskopen, drehbar und auf seiner Außenseite (wie in Fig. 298 sichtbar) mit einer Gradeinteilung versehen sein. Eine feststehende Marke gestattet, die Drehung des Tisches abzulesen. Diese Ablesung kann verfeinert und genauer gestaltet werden durch einen Nonius, der dann auch die Marke ersetzt. Das Präparat muß nun mit Hilfe der entweder am Objekttisch oder am Tubus (in Fig. 298 bei *C* am Tubus) befindlichen Schrauben gut zentriert werden, so daß der Drehungspunkt des Tisches und des Präparates mit dem Mittelpunkt des Fadenkreuzes zusammenfällt. Der Scheitelpunkt des zu messenden Winkels wird in den Mittelpunkt des Fadenkreuzes gebracht, ein Schenkel des Winkels mit einem Faden zur Deckung gebracht, am Nonius abgelesen, sodann der Tisch mit dem festgeklemmten Präparat gedreht, bis der andere Winkelschenkel mit demselben Faden zusammenfällt, und endlich am Nonius nochmals abgelesen. Die Abweichung der beiden Ablesungen gibt die Größe des Winkels. — Bei genauer Bestimmung der Form greift man zur Abbildung auf photographischem Wege (vgl. Kap. 83) oder benutzt einen Zeichenapparat (wird von verschiedenen Firmen, die Mikroskope bauen, in den Handel gebracht).

Die Größe der Präparate kann leicht ausgemessen werden, wenn man die eben angeführte Zeichnung auf Millimeterpapier ausführt. Zur genaueren Bestimmung dient ein Mikrometer, das in einen besonderen Ausschnitt des Okulars eingelegt oder eingeschoben werden kann, so daß man die Größe des betrachteten Objektes nach der Zahl der Teilstriche des Mikrometers ablesen kann. Den Mikroskopen ist eine Tabelle beigegeben, in der der Wert des Mikrometerteilstriches für die betreffende Vergrößerung, bezw. für bestimmte Kombinationen von Okular und Objektiv, angeführt ist. Man

kann sich in Ermangelung einer derartigen Tabelle den Wert des Mikrometerteilstriches selbst bestimmen, indem man ein zweites Mikrometer, dessen Einteilung man in Bezug auf die Länge kennt, oder auch ein Stück Papier mit Millimetereinteilung als Objekt benutzt und danach den Wert des Mikrometers im Okular feststellt.

Zur genaueren Untersuchung der Größe sind auch Kreuzschlittentische gebaut worden.

Die Farbe der mikroskopischen Präparate[1]) im durchfallenden Lichte ist von der Stärke der Absorption der verschiedenen Lichtstrahlen abhängig. Diese steht wiederum mit der Dicke der Präparate im Zusammenhange. Deshalb ist es zweckmäßig, möglichst Präparate von gleicher Stärke zur Untersuchung heranzuziehen (wie S. 661 schon angegeben, im Mittel 0,05 mm), und alle dickeren und dünneren Präparate, wenn es sich nicht um besondere Untersuchungen handelt, auszuschalten. Die Höhe der Absorption des Lichtes ist weiter abhängig von den optischen Eigenschaften des einzelnen Minerales. Nur bei den amorphen und regulären Mineralien zeigt sich gleiche Absorption in den verschieden orientierten (nach verschiedenen kristallographischen Richtungen gelegten) Schnitten. Bei allen anderen Mineralien, also denen des quadratischen, hexagonalen, rhombischen, monoklinen und triklinen Kristallsystems, ist die Absorption nicht nur von der Lage des Schnittes, sondern auch von der Richtung abhängig, in der das Licht in dem betreffenden Kristalldurchschnitte schwingt. Deshalb wird die Farbe als Absorptionsfarbe gleich so beobachtet, daß man nur in einer bestimmten Ebene schwingendes Licht verwendet. Die so zu beobachtende Eigenschaft der Absorption bezeichnet man als Pleochroismus. Polarisiertes (nur in einer Ebene schwingendes) Licht wird aber nun schon von dem Polarisator (*P* in Fig. 298) erzeugt. Man entfernt ihn deshalb im allgemeinen nicht, da er auch bei den anderen Untersuchungen nicht hinderlich ist. Man dreht die Präparate deshalb auf dem Objekttisch bei eingeschaltetem Polarisator *P*, aber ausgeschaltetem Analysator A_1. Die Richtungen größter Farbenunterschiede werden als Absorptionsachsen bezeichnet. Zwei Absorptionsachsen besitzen die Kristalle des quadratischen und hexagonalen, je drei aber die des rhombischen, monoklinen und triklinen Kristallsystems. Hat man also mehrere, verschieden gelegte Schnitte durch ein gefärbtes Mineral, so können die folgenden verschiedenen Beobachtungen zur Mineralbestimmung herangezogen werden.

1. Alle Schnitte zeigen gleiche Farbe. — Keine Absorption. — Amorphe oder reguläre Mineralien.
2. Wechsel zwischen zwei verschiedenen Farben oder Farbentönen. —

[1]) Eine Zusammenstellung der gesteinsbildenden Mineralien nach der Farbe findet sich in Tabelle 18 zu Weinschenks gesteinsbildenden Mineralien (2. Aufl. 1907).

Zwei Absorptionsachsen. — Mineralien des quadratischen oder hexagonalen Systems.

3. Wechsel zwischen drei verschiedenen Farben oder Farbentönen. — Drei Absorptionsachsen. — Mineralien des rhombischen, monoklinen oder triklinen Systems.

An und für sich farblose Mineralien, bei denen also keine Absorption zu beobachten ist, können auf diesem Wege nicht zur Systembestimmung benutzt werden. Überhaupt darf diese Methode nicht allein Anwendung finden. Im speziellen ist zu beachten, daß Schnitte nach der Basis im hexagonalen und quadratischen System ebenfalls keine Farbenänderung zeigen. Diese Schnitte müssen im konvergenten Lichte ein Achsenbild einachsiger Kristalle (vgl. S. 691) erkennen lassen.

Es ist zur genaueren relativen Bestimmung der Absorption notwendig, die Schwingungsrichtung des Lichtes im Polarisator zu kennen. Ist als Nicolsches Prisma im Polarisator ein Kalkspatspaltungsstück verwandt, so ergibt sich die Schwingungsrichtung als kurze Diagonale der Rhomboederspaltungsfläche. Im anderen Falle benutzt man eine Turmalinnadel oder ein mit scharfen Spaltungstracen nach der Basis versehenes, quer geschnittenes Glimmerblättchen, z. B. in einem granitischen Gesteine, zur Bestimmung der Schwingungsrichtung im Polarisator. Die Turmalinnadel zeigt geringe Absorption, also helle Farbe, wenn sie der Schwingungsrichtung des Polarisators parallel liegt, starke Absorption, also dunkle Farbe, wenn sie quer zur Schwingungsrichtung des Polarisators liegt. [In der Längsrichtung der Nadel schwingt der außerordentliche (E), quer dazu der ordentliche Lichtstrahl (O) (Turmalin hexagonal!). Daraus ergibt sich die Absorptionsformel $O > E$.] — Ein Querschnitt durch Biotit, also ein Schnitt ungefähr senkrecht zur Spaltbarkeit, ist am dunkelsten, wenn seine Spaltungsrichtung, durch scharfe Linien im Dünnschliffe angedeutet, mit der Schwingungsrichtung des aus dem Polarisator austretenden Lichtstrahles zusammenfällt.

Man benutzt zur Bestimmung der Absorptionsfarbe entweder den Vergleich mit den gewöhnlichen Farben unter Benutzung möglichst vieler und feiner Abstufungen oder, namentlich bei genaueren Untersuchungen, eine Farbenzusammenstellung, wie z. B. die Raddesche Farbenskala.

Der Glanz kommt in mikroskopischen Präparaten im wesentlichen nur für die undurchsichtigen (opaken) Mineralien in Betracht. Dazu ist Abblendung des von dem Spiegel bei S kommenden Lichtes entweder durch andere Stellung des Spiegels oder durch Abblenden des auf den Spiegel auftreffenden Lichtes mit der Hand notwendig.

Eines der wichtigsten Kennzeichen bei der Bestimmung im gewöhnlichen

Lichte ist die der Spaltbarkeit, die sich in hinreichend dünnen Schliffen[1]) in je nach dem Grade der Spaltbarkeit verschieden scharfen, schwarzen Linien im Präparate erkennen läßt. Verwechslungen sind möglich mit schmalen Einlagerungen fremdartiger Substanzen (z. B. mit strichartigen dunklen Mineralien) oder mit dünnen, eingelagerten Zwillingslamellen.

Bei Bestimmung der Lage der Spaltungsrichtungen ist wiederum auf die regellose Lage der Schnitte Rücksicht zu nehmen. Der Winkel der Spaltungsrichtungen gegeneinander wird wie der Winkel von Kristallkanten bestimmt. Der verschiedene Grad der Spaltbarkeit kommt in der verschiedenen Art der schwarzen Linien zum Ausdruck. Vollkommenste Spaltbarkeit zeigt sich in lang anhaltenden parallelen Linien, weniger vollkommene in oft absetzenden, unvollkommene wie überhaupt der Bruch der verschiedensten Art in gebogenen oder krummen Linien.

Weiter kommen Einschlüsse zur Beobachtung. Verschiedenartige Mineralien zeigen sich am Wechsel der Färbung oder bei gleicher Färbung an einem Wechsel des Brechungsexponenten (verschiedenartiges Relief, vgl. S. 674—675). Dieser Wechsel kommt am besten zum Ausdruck beim Senken des Beleuchtungsapparates, was bei dem Mikroskope in Figur 298 durch die Schraube *S*, bei anderen durch besondere Hebel bewirkt wird. Das Senken bewirkt eine Abblendung der unter großem Winkel gegen die Achse auftreffenden Strahlen, damit eine stärkere Totalreflexion an den unregelmäßigen Erhabenheiten von Ober- und Unterfläche, infolgedessen ein stärkeres Hervortreten des Reliefs. Die Grenze zweier Mineralien zeigt die Beckesche Linie, die dann zur gegenseitigen Bestimmung der Brechungsexponenten benutzt werden kann.

Die Grenze zweier Mineralien gegeneinander wird sich im allgemeinen in einer dünnen Linie markieren, wenn die Brechungsexponenten nicht zu sehr voneinander abweichen (vgl. die Tabelle der Brechungsexponenten S. 679—680; dünne Nadeln von Rutil, $n = 2{,}71$, in Quarz, $n = 1{,}54$ können fast völlig schwarz erscheinen infolge des großen Unterschiedes der Brechungsindices).

Häufig kommen rundliche oder eckige Einschlüsse von Gasen oder Flüssigkeiten zur Beobachtung. Gaseinschlüsse zeigen einen dunklen, breiten, Flüssigkeitseinschlüsse einen schmaleren Rand (vgl. hierzu auch den ersten Abschnitt auf S. 674 und die Tabelle auf S. 675 oben).

---

[1]) Bei dicken Schliffen ist die Spaltbarkeit oft nicht zu sehen, da sich die Spaltungsrisse teilweise erst durch die Erschütterungen beim Schleifen bilden.

Kapitel 79.

Beobachtungen im parallelen polarisierten Lichte.

Die theoretische Kristalloptik, namentlich das optische Verhalten der verschiedenen Kristallsysteme, kann hier nicht besprochen werden. Die oben auf S. 567 schon erwähnten Lehr- und Handbücher der Petrographie, die Lehrbücher der Physik und Mineralogie (wie z. B. Bauer, Lehrbuch der Mineralogie, 2. Aufl., Stuttgart 1904. Groth, Physikalische Kristallographie, 4. Aufl., Leipzig 1906, oder Klockmann, Lehrbuch der Mineralogie, 4. Aufl., Stuttgart, F. Enke, 1907), wie auch spezielle Leitfäden geben darüber ausführliche und hinreichende Auskunft. Eine kurze übersichtliche Darstellung gibt M. Weber, Einführung in die Kristalloptik (München, J. Lindauersche Buchhandlung, 1908; 17 Seiten, Mk. 0,80), auf die besonders verwiesen sei.

Die Zusammenstellung des Mikroskopes in Figur 299 (298 nach Ausschalten der Bertrandschen Linse *B*), also gegenüber dem vorhergehenden Kapitel nach Einschalten des Analysators A_1, gestattet unter anderem:

1. die Erkennung der Doppelbrechung;
2. die Bestimmung der Lage und des relativen Wertes der Schwingungsrichtungen in dem betreffenden Schnitte (Bestimmung der Auslöschungsrichtung).
3. die Messung der Stärke der Doppelbrechung;
4. in einzelnen Fällen auch die Bestimmung des Kristallsystems, dem das betreffende Präparat angehört;
5. die Erkennung etwaiger Zwillingsbildung.

Alle kristallisierten Mineralien, die nicht dem regulären System angehören, sind anisotrop oder doppelbrechend. Das aus dem Polarisator (*P*) in das Präparat eintretende Licht wird im allgemeinen in zwei Strahlen zerlegt, die senkrecht zueinander schwingen (polarisiert sind) und sich mit verschiedener Geschwindigkeit durch den Kristall hindurchbewegen. Durch den Analysator (A_1) werden diese beiden Schwingungen wieder in eine Ebene gebracht und geben wegen der Verzögerung des einen Strahles gegenüber dem anderen zu Interferenzerscheinungen Veranlassung. Diese Interferenz zeigt die Doppelbrechung an. Sie äußert sich darin, daß ein beliebiger Querschnitt eines doppelbrechenden Minerals bei einer Drehung mit dem Objekttisch um 360° zwischen gekreuzten Nicols viermal hell und dunkel wird. Wenn das Fadenkreuz des Okulars, wie allgemein gebräuchlich, parallel den Schwingungsrichtungen der beiden Nicols orientiert ist, so tritt Dunkelheit ein, wenn die zueinander senkrechten Schwingungsrichtungen

in dem Präparate mit den Fäden zusammenfallen. Aus der Neigung dieser Schwingungsrichtung gegenüber der Kristallumgrenzung oder gegenüber bestimmten gesetzmäßigen Linien im Kristalle (Spaltbarkeit, Einschlüsse u. s. w.) sind dann Schlüsse über das Kristallsystem möglich, dem das betreffende Präparat angehört (vgl. Schlüssel S. 695—697). Die genaue Feststellung der Lage dieser Schwingungsrichtung erfolgt unter Benutzung eines dünnen Gipsblättchens, das eine Interenzfarbe I. Ordnung (vgl. S. 673, 688) zeigt. Genaues Zusammenfallen der Schwingungsrichtungen der Nicols (bezw. Zusammenfallen des Fadenkreuzes) mit den Schwingungsrichtungen im Präparate findet dann statt, wenn die Interferenzfarbe (Rot I. Ordnung) des Gipsplättchens durch das Mineralpräparat keine Änderung erfährt. Eine geringe Drehung des Präparates bewirkt gleich eine starke Änderung der Interferenzfarbe.

Jeder doppelbrechende Kristall hat nun eine oder zwei Richtungen, in welchen Doppelbrechung des Lichtes nicht eintritt. Diese Richtungen heißen optische Achsen. Wir haben dann zu unterscheiden zwischen optisch einachsigen und optisch zweiachsigen Kristallen. Optisch einachsig sind die Kristalle des hexagonalen und quadratischen, optisch zweiachsig dagegen die des rhombischen, monoklinen und triklinen Kristallsystems. Die Schnitte senkrecht zu einer optischen Achse, in denen eben das in Richtung der optischen Achsen sich fortbewegende Licht zur Erscheinung kommt, zeigen beim Drehen um 360° auf dem Objekttische zwischen gekreuzten Nicols entweder immer Dunkelheit oder keine Änderung der auftretenden Interferenzfarbe. (Diese Schnitte liefern dann im konvergenten, polarisierten Lichte die Achsenbilder entweder einachsiger oder zweiachsiger Kristalle, vgl. S. 690 u. f.)

Die verschiedenartigen Erscheinungen einachsiger und zweiachsiger Kristalle beruhen auf der verschiedenen Elastizität innerhalb der Kristalle, welche die Lichtfortpflanzung bewirkt. Die einachsigen Kristalle haben ein Rotationsellipsoid als Elastizitätsellipsoid, wenn dessen einzelne Radien die Elastizität in der betreffenden Richtung bedeuten. Jeder Durchschnitt durch ein solches Elastizitätsellipsoid ist entweder eine Ellipse oder ein Kreis. Jeder senkrecht zu einem solchen Durchschnitt sich fortbewegende Strahl schwingt nach den Achsen der Ellipse oder den Durchmessern des Kreises. Eine Richtung, die parallel der Rotationsachse, gibt keine Abweichung der Bewegung beider Strahlen, also auch keine Doppelbrechung. Der senkrecht zur Rotationsachse sich fortbewegende Strahl zeigt die größte Abweichung der beiden Strahlen voneinander. Die Richtung der Rotationsachse fällt bei den einachsigen Kristallen mit der kristallographischen Hauptachse zusammen. Es ist nun von besonderer Wichtigkeit, ob der in der Richtung der Hauptachse schwingende Strahl, der außerordentliche, der größeren oder kleineren Elastizität gegenüber dem senkrecht dazu schwin-

genden, dem ordentlichen, entspricht. Die Richtung größerer Elastizität bezeichnet man mit 𝔞, die der kleineren mit 𝔠; die kristallographische Hauptachse ist *c*. Es kann entweder $c = 𝔞$, oder $c = 𝔠$ sein. Im ersten Falle heißen die Kristalle negativ, im letzteren positiv. Bezeichnet ω den Brechungsexponenten des ordentlichen, ε den des außerordentlichen Lichtstrahls, so ist bei den negativen Kristallen $\omega > \varepsilon$, dagegen bei den positiven $\varepsilon > \omega$.

Zweiachsige Kristalle haben drei voneinander abweichende, zueinander senkrechte Elastizitätsrichtungen und zwar bezeichnet

𝔞 die größte
𝔟 die mittlere } Elastizität bezw. Lichtgeschwindigkeit des in der betr. Richtung schwingenden Strahles.
𝔠 die kleinste

Diese Werte entsprechen den drei Achsen des Elastizitätsellipsoides zweiachsiger Körper.

Die beiden optischen Achsen liegen in der Ebene der größten und kleinsten Elastizität, so daß 𝔟 immer senkrecht zur Ebene der optischen Achse

Fig. 304.

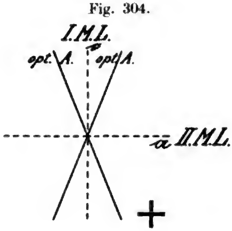
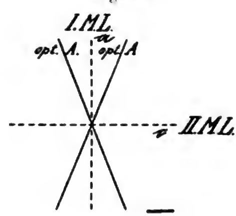


Fig. 305.



liegt (optische Normale). Die Halbierungslinie des Winkels der optischen Achsen heißt die Mittellinie. Die erste oder spitze Mittellinie (oder Bisektrix) teilt den spitzen, die zweite oder stumpfe den stumpfen Winkel der optischen Achsen. Es sind nun die beiden Fälle der Figuren 304 und 305 möglich. Erstere entspricht positiv, letztere negativ zweiachsigen Substanzen. (In den Figuren bedeutet: M. L. Mittellinie, 𝔞 und 𝔠 die Richtungen größter, bezw. kleinster Elastizität.)

Jeder beliebige Schnitt (mit Ausnahme der senkrecht zu einer Achse gelegenen) zeigt nun zwei senkrecht zueinander liegende Auslöschungsrichtungen, die verschiedenen Lichtgeschwindigkeiten (Elastizitäten) entsprechen. Die Bestimmung des relativen Wertes der beiden Auslöschungsrichtungen ist von hohem Werte für die Mineralbestimmung. Man bedient sich dazu wieder des Gipsblättchens mit dem Rot I. Ordnung.

Zu seiner Benutzung ist aber die Kenntnis der Interferenzfarben notwendig. Viele Lehr- und Handbücher (vor allem Rosenbusch-Wülfing und Groth in ausgezeichneter farbiger Darstellung, Weinschenk und Weber in schematischer Zeichnung) geben Abbildungen der Interferenzfarben. Hat man solche nicht, wohl aber einen Quarzkeil zur Hand, der vielen Mikroskopen beigegeben ist, so kann man diesen zum Studium der Interferenzfarben benutzen. Der Quarzkeil, der zu einer spitzen Schneide ausgezogen ist, wird so auf den Objekttisch zwischen gekreuzte Nicols gelegt, daß seine (gewöhnlich aufgezeichneten) Schwingungsrichtungen diagonal (unter 45° gekreuzt) gegenüber den Schwingungsrichtungen von Analysator und Polarisator liegen. Es zeigen sich dann verschiedene Interferenzfarben, die von Schwarz über Graublau, Weiß, Grün, Gelb, Rot zu Tiefrot und Purpur und hier an der Grenze zu den bis jetzt aufgezählten Farben I. Ordnung zu denen II. Ordnung rasch übergehen in Violett, dann zu Blau, Grün, Gelb, Orange, Rot (hier Grenze zwischen II. und III. Ordnung), weiter wieder Blau, Grün, Gelb, Rötlich (wieder Grenze, hier zur IV. Ordnung), weiter in grünliche, rosa Farben und allmählich übergehen zu blassen Farben und endlich zu einem verschwommenen Weiß, dem Weiß höherer Ordnung. Bei der Anwendung des Gipsblättchens mit dem Rot I. Ordnung kommt es im wesentlichen auf die diesem Rot I. Ordnung benachbarten Interferenzfarben an, die man sich bald einprägt.

Zum Einschieben dieses Hilfsapparates, des Gipsblättchens mit dem Rot I. Ordnung, ist in dem Mikroskop in Figur 298 ein besonderer Schlitz bei *H* angebracht. Dreht man das Präparat nach Einschieben dieses Hilfsblättchens zwischen gekreuzten Nicols, so ist nur die Interferenzfarbe dieses Blättchens zu sehen, wenn die Schwingungsrichtungen des Mineralpräparates mit denen der Nicols zusammenfallen. (Das Rot I. Ordnung tritt dann an Stelle der Dunkelheit.) In den Zwischenlagen tritt die Interferenzfarbe des Blättchens zu der Interferenzfarbe des Präparates. Am stärksten weichen die Farben ab, wenn die Schwingungsrichtungen des Mineralpräparates um 45° gegenüber denen der Nicols geneigt sind. Das Mineralpräparat und das Gipsblättchen haben nun je eine größere und kleinere Elastizität in den betreffenden Schnitten, die man durch Drehen des Präparates parallel legen kann. Fallen gleiche Elastizitäten zusammen, so tritt eine Erhöhung der Interferenzfarben ein (nach der höheren Ordnung, in der Richtung auf das dickere Ende des Quarzkeiles hin), fallen verschiedene Elastizitäten zusammen, so tritt Erniedrigung ein. Der Kristall, in dem die Lage der Schwingungsrichtungen vorher nach den auf S. 686 angegebenen Methoden bestimmt ist, wird so gedreht, daß nacheinander seine Schwingungsrichtungen gegenüber denen der Nicols um 45° geneigt sind, und zwar einmal nach rechts und einmal nach links. Im einen Falle tritt Erhöhung, im anderen Erniedrigung der Interferenzfarben ein. Im ersteren Falle ist dann die Schwingungsrichtung, welche der auf dem Gipsblättchen eingezeichneten größeren Elastizität parallel liegt, die größere unseres Mineralschnittes.

Beispiel (Fig. 306 u. 307): Ein Hornblendekristall $H H_1 H_2 H_3$ zeige in einem Schnitte nach dem Klinopinakoide $\infty P \infty \{010\}$ eine Neigung der Auslöschungs-

richtung xx von 10° gegenüber der prismatischen Spaltbarkeit, die sich in scharfen Rissen parallel den Seitenkanten in Richtung HH_3, H_1H_2 und damit auch parallel

Fig. 306.

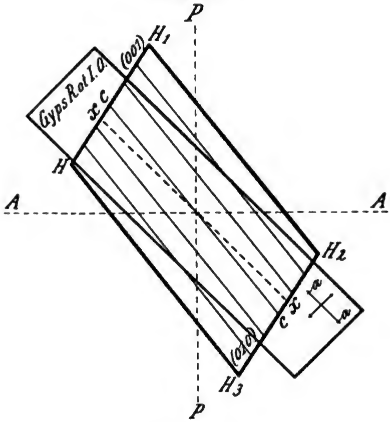
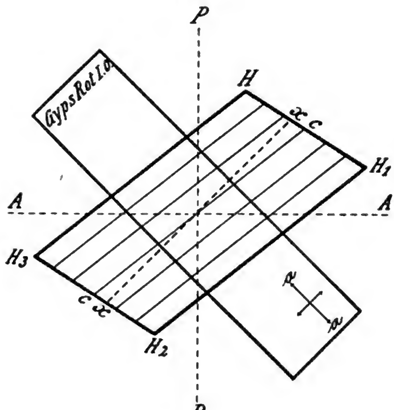


Fig. 307.



der Vertikalachse cc offenbart. Der Kristall werde so gedreht, daß er einmal die Lage von Figur 306, das andere Mal die von Figur 307 habe, in denen die beiden Aus-

löschungsrichtungen des Kristalles gegenüber den Schwingungsrichtungen der Nicols um je 45° einmal nach der einen, das andere Mal nach der anderen Seite gedreht sind. Ein Gipsblättchen mit der Interferenzfarbe des Rot I. Ordnung sei in die Öffnung *H* der Figur 298 so eingeschaltet, daß seine Schwingungsrichtungen auch einen Winkel von 45° mit denen der Nicols bilden[1]. Die Schwingungsrichtungen des Gipsblättchens und des Hornblendekristalls liegen dann parallel. In den Teilen, wo über dem Hornblendekristalle das Gipsblättchen liegt, findet eine Änderung der Interferenzfarben statt, die durch den Hornblendekristall allein hervorgerufen wird. Figur 307 zeige Erhöhung der Interferenzfarben. xx ist dann die Richtung der kleineren Elastizität $\mathfrak{c}$, bezw. in der Richtung xx schwingt der mit der geringeren Lichtgeschwindigkeit senkrecht zu diesem Schnitte sich fortpflanzende Strahl. Senkrecht zu xx liegt natürlich die größere Elastizität, bezw. in dieser Richtung schwingt der mit größerer Geschwindigkeit senkrecht zu diesem Schnitte sich fortpflanzende Strahl. Der Winkel von 10° entspricht also dem Werte $c : \mathfrak{c}$. (Für $c : \mathfrak{a} = 10°$ müßte Erhöhung der Interferenzfarben in der Lage von Figur 306 zu beobachten sein.)

Diese Bestimmung gehört zu den wichtigsten bei petrographischen Arbeiten. Hat man bei einem zweiachsigen Mineral drei zueinander senkrechte Schnitte, deren Schnittlinien den Achsen des Elastizitätsellipsoides entsprechen, so ist auf diesem Wege die Bestimmung des relativen Wertes aller drei Achsen möglich.

Die Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung in einem einachsigen Kristall können wir zunächst (bei Anwendung parallelen polarisierten Lichtes) in einem Schnitte parallel zur Hauptachse vornehmen. Wir stellen auf dem vorher angegebenen Wege fest, ob in Richtung der Hauptachse der mit größerer [oder kleinerer] Geschwindigkeit senkrecht zu dem Schnitte sich fortpflanzende Strahl schwingt. (Es ist das gleichbedeutend damit, daß in Richtung der Hauptachse größere [bezw. kleinere], senkrecht dazu kleinere [bezw. größere] Elastizität herrscht.) Es ergibt sich (vgl. S. 687) in ersterem Falle $c = \mathfrak{a}$, der Kristall ist negativ, im zweiten Falle $c = \mathfrak{c}$, positiv.

Zwillingsbildung äußert sich in den Schnitten im parallelen polarisierten Lichte dann, wenn die Schwingungsrichtungen der verschiedenen Teile der Zwillingsverwachsungen nicht parallel liegen. Dann zeigen sich die einzelnen Teile beim Drehen zwischen gekreuzten Nicols in verschiedenen Interferenzfarben. Die Bestimmung der Lage der Schwingungsrichtungen gegenüber der Grenze der einzelnen Zwillingsindividuen wie gegenüber der äußeren Begrenzung kann dann zur Bestimmung der Zwillingsgesetze führen. Wiederholte, wie vor allem polysynthetische Zwillingsbildung (z. B. Feldspat) zeigt sich in zahlreichen, aufeinander folgenden Lamellen, die abwechselnd hell und dunkel erscheinen.

---

[1] Es ist wohl zu beachten, daß die Hilfsblättchen auch oft eine andere Orientierung, wie hier und in den anderen Figuren auf den folgenden Seiten angenommen wurde, haben. Die hier abgeleiteten Gesetze finden dann entsprechende Anwendung.

Kapitel 80.

Beobachtungen im konvergenten polarisierten Lichte.

Die meisten Mikroskope lassen sich auf einfache Weise so umwandeln, daß die Präparate auch im konvergenten polarisierten Lichte betrachtet werden können. Zu dem Zwecke muß auf den Beleuchtungsapparat (in dem sich auch der Polarisator *P* befindet), also in die Öffnung in dem Objekttische noch eine weitere Linse (Kondensorlinse) eingelegt werden, die den Mikroskopen lose beigegeben wird. Es muß weiter ein stärkeres Objektiv genommen werden, das dem Präparate stark genähert werden kann, so daß die unter großem Winkel aus dem Präparate noch austretenden Strahlen aufgefangen und zu einem Achsenbilde vereinigt werden können. Das Achsenbild gelangt bei petrographischen Arbeiten im allgemeinen zwischen gekreuzten Nicols, nach Abnahme des Okulars, oder mit Okular nach Einschieben der Bertrandschen Linse (*B*) zur Beobachtung (Fig. 298 S. 672 gibt die letztere Zusammenstellung). Beide Versuchsanordnungen verlangen, daß der Schliff vorher im parallelen polarisierten Lichte möglichst scharf eingestellt wurde. Hexagonale und quadratische Kristalle liefern das Achsenbild einachsiger Kristalle. [Im einfarbigen Lichte: schwarzes Kreuz, dessen Mittelpunkt von dunklen und hellen konzentrischen Ringen umgeben ist. Im gewöhnlichen, weißen Lichte: dunkles Kreuz, dessen Mittelpunkt von farbigen konzentrischen Ringen umgeben ist[1]).]

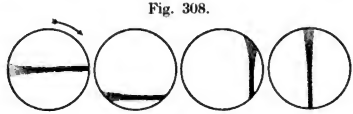
Schnitte senkrecht zu einer der optischen Mittellinien bei rhombischen, monoklinen oder triklinen Kristallen liefern das Achsenbild zweiachsiger Kristalle, das sich bei einer Drehung des Präparates ändert. [I. Schwingungsrichtungen des Präparates parallel denen der beiden Nicols (Normalstellung): Im einfarbigen Lichte: schwarzes Kreuz mit ungleich dicken Armen. Die dünneren verbinden die Achsenaustrittspunkte, die von schwarzen und hellen Ringsystemen umgeben sind, deren äußere zu Lemniskaten, die beide Achsen umgeben, zusammenlaufen. Im gewöhnlichen Lichte: das schwarze Kreuz ist an den Rändern verwaschener. An die Stelle der hellen und dunklen Kurven treten farbige Kurven. II. Bei einer Drehung des Präparates aus dieser Parallelstellung in die um 45° zu den Nicolschwingungsrichtungen geneigte Lage öffnet sich das Kreuz und geht in zwei hyperbolisch gekrümmte, dunkle Büschel über, wobei die Achsenaustrittspunkte immer dunkel bleiben und nachher den Scheitelpunkten der Hyperbeln entsprechen. Diese Achsenaustritte werden von den gleichen Ringsystemen wie vorher umgeben, welche von den dunklen Büscheln rechtwinklig durchsetzt werden[1]). Diese Stellung ist die Hyperbelstellung.]

---

[1]) Abbildungen in allen Lehrbüchern der Physik und Mineralogie.

Die gewöhnlichen Dünnschliffe sind aber nur selten genau senkrecht zu einem Achsenaustrittspunkt oder senkrecht zu einer optischen Mittellinie durch die Kristallindividuen des betreffenden Gesteines gelegt. Bei nicht zu stark geneigter Lage ist aber immerhin auch noch eine Entscheidung darüber möglich, ob ein einachsiges oder zweiachsiges Mineral vorliegt, indem man auch dann immer noch einen Teil des Achsenbildes beobachten kann. Drehen eines schief geschnittenen einachsigen Mineralpräparates zwischen gekreuzten Nicols bewirkt nur eine Parallelverschiebung des schwarzen Kreuzes. Die Balken krümmen sich nicht (Fig. 308). Drehung

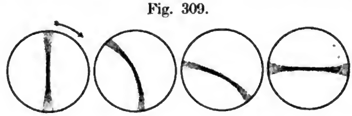
Fig. 308.



1 2 3 4

Drehung des Achsenbildes bei einem einachsigen Kristalle, der schief zu der Achse geschnitten ist. Drehung des Objekttisches mit dem Präparate in Richtung des Pfeils von Nord über Nordost nach Ost (das Gesichtsfeld ist als geographische Karte aufgefaßt). Die Balken des Achsenkreuzes einachsiger Mineralien krümmen sich nicht. Die einzelnen Balken wie auch der Mittelpunkt des Achsenkreuzes bewegt sich scheinbar in derselben Richtung wie der Tisch.

Fig. 309.



1 2 3 4

Drehung des Achsenbildes bei einem zweiachsigen Kristalle, der schief zu einer Mittellinie, aber nahezu senkrecht zu einer Achse geschnitten ist. Der Objekttisch ist bei den von links nach rechts aufeinander folgenden Bildern in der Richtung des Pfeiles, also geographisch gesprochen, von Nord über Nordost nach Ost gedreht gedacht. In den 90° auseinander liegenden Lagen ist der Balken gerade, krümmt sich aber in den zwischenliegenden Stellungen in einer der Drehung des Objekttisches entgegengesetzten Richtung.

eines zweiachsigen Minerals dagegen bewirkt den Übergang in die Hyperbelstellung, also Krümmung der Balken. Die Bewegung der Balken beim Drehen einachsiger Mineralschnitte folgt der Richtung, in der der Objekttisch mit dem Präparate gedreht wird (Fig. 308). Zweiachsige Mineralpräparate zeigen eine der Drehung des Tisches entgegengesetzte Bewegung der Balken. Am deutlichsten kommt dies zum Ausdruck, wenn der Schnitt senkrecht zu einem Achsenaustrittspunkt zweiachsiger Kristalle gelegt ist (Fig. 309).

Sehr wesentlich ist bei eventuellen mikroskopischen Arbeiten des Geologen die Bestimmung des optischen Charakters[1]) des betreffenden Mine-

[1]) Vgl. zur Bestimmung des optischen Charakters, außer Rosenbusch-Wülfing, auch Rinne, Das Mikroskop im chemischen Laboratorium; Weinschenk, Polarisationsmikroskop, 2. Aufl. 1906; Rinne, Neues Jahrb. f. Min. 1891, II. 26—27, Zentralbl. f. Min. 1901, 653—655.

ralschnittes mit Hilfe des konvergenten polarisierten Lichtes. Einrichtung des Mikroskopes wie vorher (Anordnung der Fig. 298). Eingeschoben wird in den Schlitz H (Fig. 298) entweder wieder das Gips-

Fig. 310.

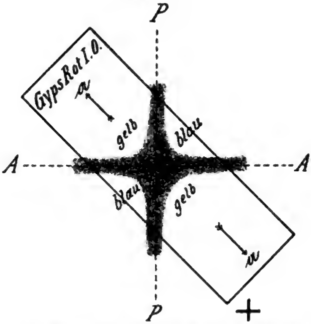
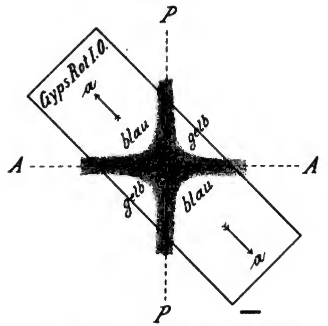
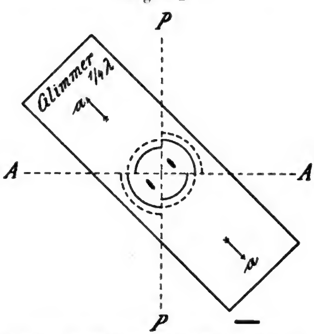


Fig. 311.



Das Einschieben des Gipsblättchens verändert das schwarze Kreuz in ein rotes Kreuz, in dessen Winkeln bei Anwendung gewöhnlichen Lichtes gelbe und blaue Farben auftreten, deren Lage gegenüber den Schwingungsrichtungen im Gipsblättchen zu der Bestimmung als + oder — führt.

Fig. 312.



Das Einschieben des Viertelundulationsglimmerblättchens bewirkt eine Verschiebung der einzelnen Ringe in den aneinanderstoßenden Quadranten im entgegengesetzten Sinne. Die Lage der schwarzen Punkte dient zur Bestimmung. Bei einem positiven Kristalle liegen die schwarzen Punkte in den anderen Quadranten.

blättchen mit dem Rot I. Ordnung oder das Viertelundulationsglimmerblättchen (gewöhnlich als $^1/_4$ λ bezeichnet). Beide sind den einfacheren mineralogischen Mikroskopen beigegeben. Die relativen Werte der Schwin-

gungsrichtungen sollen diesen Hilfsblättchen aufgezeichnet sein. Sie sind so einzuschieben, daß die Schwingungsrichtungen der Hilfsblättchen um 45° gegen die Schwingungsrichtungen der Nicols gedreht sind[1]). Sowohl das Achsenbild einachsiger, wie zweiachsiger Kristalle wird durch das Einschieben der Blättchen verändert. Die spezielle Änderung ergibt sich aus den Figuren 310—315. Es ist hier in allen Fällen angenommen worden, daß die längere Seitenkante des Hilfsblättchens der größeren Geschwindigkeit

Fig. 313.

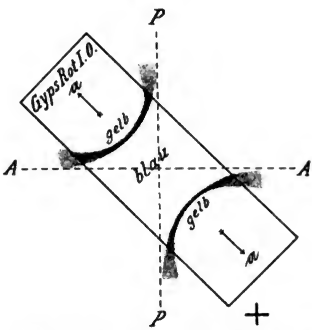
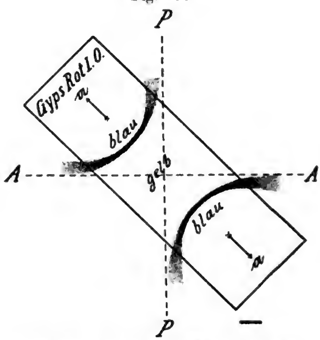


Fig. 314.



Das Achsenbild wird in der 45°-(Hyperbel-)Stellung beobachtet. (Die Abbildung läßt die farbigen Kurven außer acht.) Die Achsenebene fällt in beiden Figuren mit der größeren Elastizität a des Hilfsblättchens zusammen. Die Beobachtung des mittleren Feldes (Fig. 313 blau, Fig. 314 gelb), führt allein nicht zum Ziele. Die blaue Farbe an dem Hyperbelbogen, der selbst durch das Gipsblättchen rot gefärbt ist, liegt in jedem Falle nach der Seite der kleineren Elastizität. Die kleinere Elastizität c tritt also in Figur 313 in der Mitte des Gesichtsfeldes aus, liegt aber in Figur 314 parallel der Verbindungslinie der Achsenaustrittspunkte. Die Mitte des Gesichtsfeldes ist aber in beiden Fällen die 1. Mittellinie oder spitze Bisektrix. Die Bestimmung als + oder — ergibt sich dann unter Berücksichtigung von Figur 304 und 305.

(Elastizität a) entspricht. Die Anwendung des Gipsblättchens ist im allgemeinen vorzuziehen. Für positive Kristalle bei Anwendung des Viertelundulationsglimmerblättchens sind die Verhältnisse der Verschiebung der Ringe rechts und links der Ebene *P P* gegenüber Figur 312, die die Erscheinungen für negative Kristalle gibt, vertauscht.

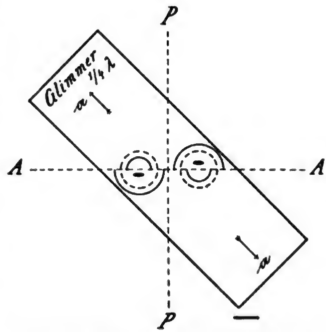
Für die einachsigen Kristalle ergibt sich bei Anwendung des Gipsblättchens die einfache Regel: Die Verbindungslinie der blauen Quadranten ist parallel der größeren Geschwindigkeit a (——) bei den negativen Kristallen (Fig. 311), die Verbindungslinie der blauen Quadranten ist gekreuzt gegenüber der größeren Geschwindigkeit a (+) in den positiven Kristallen (Fig. 310).

[1]) Vgl. Anmerkung 1, S. 690.

Zweiachsige Kristalle gestatten die Anwendung derselben Regel, wie bei den einachsigen Kristallen, wenn man das Achsenbild in der Normalstellung unter Einschieben des Gipsblättchens beobachtet. Man sieht dann das Kreuz der beiden verschieden starken Balken rot gefärbt und in dem Winkel der Balken gelbe und blaue Flecken, auf die die Regel ohne weiteres anzuwenden ist. Die Hyperbelstellung kann aber oft besser benutzt werden, wie es in der Erklärung zu den Figuren 313 und 314 angegeben ist.

Die Entscheidung ist auch dann noch, sowohl bei einachsigen wie bei zweiachsigen Kristallen, möglich, wenn nur ein blauer Fleck zu sehen ist. Seine Lage gegenüber dem Achsenmittelpunkt bei einachsigen Kristallen oder bei zweiachsigen Kristallen in der Normalstellung läßt die oben auf S. 692—694 angegebene Deutung ohne weiteres zu. Zweiachsige Kristalle in der Hyperbelstellung gestatten die in der Erklärung zu den Figuren 313 und 314 gegebene Deutung, wenn man immer bedenkt, daß die konvexe Seite der Krümmung des Hyperbelbogens stets gegen die erste Mittellinie gerichtet ist, und daß der blaue Fleck stets nach der Seite der kleineren Elastizität zu liegt. Nicht mehr deutlich ist die Krümmung, wenn der Achsenwinkel gleich oder nahezu gleich 90° ist. In solchen Fällen ist die Bestimmung sehr schwer, so daß man dann zumeist auf dieses Kennzeichen zur Mineralbestimmung verzichtet.

Fig. 315.



Anwendung des Viertelundulationsglimmerblättchens bei zweiachsigen Kristallen, die sich in der Normalstellung befinden, der gegenüber die Schwingungsvorrichtungen des Viertelundulationsglimmerblättchens um 45° gekreuzt sind. Die Ringsysteme in den einzelnen Quadranten sind verengert bezw. erweitert. Die Verteilung der schwarzen Flecke kann in gleicher Weise wie bei einachsigen Kristallen (Fig. 312) zur Deutung des optischen Charakters herangezogen werden. Diese Methode eignet sich nur für Achsenbilder mit gut ausgebildeten isochromatischen Kurven, so daß man zumeist zur Anwendung des Gipsblättchens übergehen wird.

Kapitel 81.

Optischer Schlüssel zur Bestimmung des Kristallsystems.

Am besten und für eine genaue Bestimmung des Präparates ausreichend sind drei verschiedene Schnitte durch den Kristall oder das Mineralkorn. Sie müssen ungefähr senkrecht zueinander gelegt sein und erleichtern die

isotrop	1. Alle [drei] Schliffe bleiben beim Drehen[1]) dunkel. (Ausnahmen durch optische Anomalien: fleckige Aufhellung, Felderteilung, Gitter- (Zwillings-)lamellierung, aber keine einheitliche Aufhellung.)	a) ohne	Kristallform, Spaltbarkeit oder regel-, gesetzmäßige Struktur	amorphe Mineralien
		b) mit	Kristallform, Spaltbarkeit oder regel-, gesetzmäßige Struktur	reguläre Kristalle
einachsig	2. Die meisten [zwei] Schliffe werden beim Drehen abwechselnd hell und dunkel. Sie besitzen gerade[2]) Auslöschung. Die [der] dunkel bleibenden Schliffe und die mit den niedrigsten Interferenzfarben geben im konvergenten Lichte das Achsenbild einachsiger Körper. (Achsenbild nicht sichtbar bei sehr schwacher Doppelbrechung; ausnahmsweise Öffnung des schwarzen Kreuzes: scheinbar zweiachsig.)	Die [der] dunkel bleibenden oder am wenigsten aufhellenden Schnitte zeigen regelmäßige Umgrenzung, Spaltbarkeit oder Einschlüsse	a) von gleichmäßig[3]) vier- oder achtseitiger Gestalt	quadratische Kristalle
			b) von gleichmäßig[3]) drei-, sechs-, neun-, zwölfseitiger Gestalt	hexagonale Kristalle
zweiachsig	3. Alle Schnitte werden beim Drehen abwechselnd hell und dunkel. Durchschnitte mit den niedrigsten Interferenzfarben oder die, die nicht dunkel werden, geben im konvergenten Licht das Achsenbild zweiachsiger Kristalle. (Scheinbare Einachsigkeit bei geringer Größe des Achsenwinkels.)	a) Alle [die drei] Schnitte haben gerade oder symmetrische Auslöschung		rhombische Kristalle
		b) Teils gerade[4]), teils schiefe Auslöschung		monokline Kristalle
		c) Alle Schnitte zeigen schiefe Auslöschung		trikline Kristalle

1) Das „Drehen" bezieht sich auf das Drehen auf dem Objekttisch im parallelen polarisierten Lichte zwischen gekreuzten Nicols.

2) „Gerade" Auslöschung ist dann vorhanden, wenn sie parallel der Hauptausdehnung oder bestimmten Strukturlinien der Kristalle erfolgt.

3) Die Gestalt wird umso unregelmäßiger, aber immerhin noch von der Zahl der genannten Elemente begrenzt, je mehr der Schnitt aufhellt.

4) Gerade in den zur Symmetrieebene senkrechten Schnitten.

Bestimmung des Kristallsystems sehr, wenn sie ungefähr parallel den drei Pinakoiden bei rhombischen (also nach {100}, {010}, {001}), parallel der Symmetrieebene und zwei dazu senkrechten Flächen bei monoklinen und endlich möglichst nahe den Ebenen der Kristallachsen bei triklinen Mineralien gelegt sind[1]). Bei quadratischen und hexagonalen Mineralien ist ein Schnitt parallel oder nahezu parallel der Basis {001}, bezw. {0001} erwünscht. Wenn derartig orientierte Schnitte, wie z. B. in einem Dünnschliffe, nicht vorliegen, so ist eine größere Zahl von Schnitten zu prüfen, wobei dann die größere Wahrscheinlichkeit vorliegt, daß der gewünschte Schnitt mit zur Beobachtung gelangt.

Der auf nebenstehender Seite gegebene Schlüssel kann bei Anwendung der in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen optischen Methoden zur Bestimmung des Kristallsystems im Dünnschliffe dienen. Der Schlüssel lehnt sich teilweise an einen ähnlichen Schlüssel von Weinschenk an. Die im Dünnschliffe zumeist doch nicht erkennbare Zirkularpolarisation ist außer acht gelassen worden. Die in eckigen Klammern [ ] beigefügte Bezeichnung bezieht sich auf die Fälle, daß die drei genannten orientierten Schliffe vorliegen.

Nach Bestimmung des Kristallsystems, eventuell auch des Brechungsindex und Anwendung der vorhin angegebenen Methoden, benutzt man weiter ein mineralogisches Lehrbuch, einem solchen beigegebene Tabellen (z. B. Klockmann) oder besondere Tafeln zur Bestimmung des Minerales selbst. Von diesen erwähne ich besonders: Weinschenk, Tabellen zu „Die gesteinsbildenden Mineralien". 2. Aufl. Freiburg i. Br. 1907 (sind auch ohne das zugehörige Werk zu haben).

Auch die Werke von Rosenbusch-Wülfing (Spezieller Teil, vgl. vorne S. 567) und Reinisch (in der neuen Auflage, vorne S. 568) enthalten ähnliche Tabellen. Eine dem Geologen zuweilen auch leicht zugängliche kleine Tabelle bietet: Toula, Lehrbuch der Geologie (2. Aufl. Wien und Leipzig 1906, S. 130—137).

Kapitel 82.

Mikrochemische Untersuchungsmethoden.

Sowohl die durch irgend ein Trennungsverfahren isolierten einzelnen Teilchen (vgl. S. 568—619), wie die in einem Dünnschliffe enthaltenen Mineralien werden in manchen Fällen nur durch den chemischen Nachweis des einen oder anderen Bestandteiles bestimmbar oder von anderen Mineralien unter-

[1]) Das Studium der wichtigeren gesteinsbildenden Mineralien nach solchen Schnitten wird sehr erleichtert durch die Benutzung entsprechender Sammlungen von orientierten Mineralschliffen, wie sie z. B. von Dr. Krantz-Bonn in den Handel gebracht werden.

scheidbar sein. Manchmal wird aber auch der Nachweis eines Elementes rascher zur Bestimmung des Minerales führen, wie irgend eine der anderen, vorher angegebenen Methoden. Da hierzu oft nur kleinste Bruchstücke zur Verfügung stehen, so wird man sich am ehesten mikrochemischer Methoden bedienen, von denen einige der wichtigeren im folgenden angegeben sind Zur weiteren Orientierung können die grundlegenden Werke auf diesem Gebiete (an erster Stellle immer Behrens, Anleitung, 1899), wie auch einige neuere Zusammenstellungen dienen, von denen hier erwähnt seien:

C. Klément et A. Renard, Réactions microchimiques à cristaux et leur application en analyse qualitative. Bruxelles 1886.
E. Bořický, Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Archiv der naturwissenschaftlichen Landesdurchforschung von Böhmen. III. Band. Chem.-Petrologische Abteilung. Prag 1877. 80 Seiten und 2 Tafeln.
K. Haushofer, Mikroskopische Reaktionen. Braunschweig 1885.
Fuchs-Brauns, Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. 5. Aufl. Gießen 1907. (Zusammenstellung der mikrochemischen Methoden darin zuerst von A. Streng.)
H. Behrens, A manual of microchemical analysis. London 1894. — Anleitung zur mikrochemischen Analyse. 2. Aufl. Hamburg und Leipzig 1899. — Mikrochemische Technik. Hamburg und Leipzig 1900[1]).
W. Florence, Darstellung mikroskopischer Kristalle in Lötrohrperlen. Neues Jahrbuch f. Min. 1898. II. S. 102—146.
R. J. Meyer, Der mikroskopische Nachweis der seltenen Erden. Zeitschr. f. anorganische Chemie, Bd. 33, S. 113.
A. C. Huysse, Atlas zum Gebrauche bei der mikrochemischen Analyse. Leiden 1900.

In folgenden Werken finden sich mehr oder weniger kurze Zusammenstellungen hierher gehöriger Methoden:

R. Brauns, Chemische Mineralogie. Leipzig 1896. S. 28—43.
F. Klockmann, Lehrbuch der Mineralogie. 4. Aufl. Stuttgart 1907. S. 258—260.
O. Lehmann, Die Kristallanalyse oder die chemische Analyse durch Beobachtung der Kristallbildung mit Hilfe des Mikroskops. Leipzig 1891. S. 57—65.
Rosenbusch-Wülfing, Mikroskopische Physiographie der Mineralien. 4. Aufl. I. 1. Stuttgart 1904. S. 435—450.
E. Weinschenk, Die gesteinsbildenden Mineralien. 2. Aufl. Freiburg i. Br. 1907. S. 25—35. (Die Kritik von Weinschenk gegenüber der mikrochemischen Analyse ist zu absprechend.)

Das Hauptmerkmal für die mikrochemische Analyse bieten die entstehenden Neubildungen, die entweder aus der Lösung des zu untersuchenden Minerales ausgefällt oder daraus durch Abdampfen gewonnen werden können. Die Reaktionen unterscheiden sich ihrem Zwecke nach

[1]) Für spezielle Fälle noch: H. Behrens, Anleitung zur mikrochemischen Analyse der wichtigsten organischen Verbindungen: 1. Heft (Anthracengruppe, Phenole, Chinone, Ketone, Aldehyde). Hamburg 1895. 2. Heft (Die wichtigsten Faserstoffe). Hamburg 1896. 3. Heft (Aromatische Amine). Hamburg 1896. 4. Heft (Karbamide und Karbonsäuren). Hamburg 1897.

ganz wesentlich von denjenigen der analytischen Chemie. Während bei jenen die Erzeugung unlöslicher Verbindungen die Hauptsache ist, handelt es sich hier darum, durch die Einwirkung des Reagens Kristalle zu erzeugen, die unter dem Mikroskop leicht und sicher erkannt werden können. Da nun die unlöslichen Verbindungen gewöhnlich als ein unkristallinisches Pulver oder als Kriställchen von gar zu winzigen Dimensionen ausfallen, so können sie unter dem Mikroskop selten mit Sicherheit erkannt werden. Hierzu eignen sich vielmehr die Reaktionen, die schwerlösliche Verbindungen liefern und beim allmählichen Verdunsten der Lösung gewöhnlich in charakteristischen Formen auskristallisieren. Eine der wichtigsten Aufgaben bei der mikrochemischen Analyse ist daher die mikroskopische Kristallbestimmung, namentlich die Bestimmung des Systems, zu dem die neugebildete Substanz gehört. Zu dieser mikroskopischen Kristallbestimmung benutzt man entweder die vorne in den Kapiteln 77—81 angegebenen Methoden, vor allem den auf S. 696 gegebenen Schlüssel zur Bestimmung des Kristallsystems, oder noch die spezielle Anleitung von Schroeder van der Kolk, die manchen trefflichen Wink für derartige Arbeiten gibt[1]).

Die Vorzüge der mikrochemischen Mineraluntersuchung bestehen in der außerordentlich geringen Menge des erforderlichen Materials und in der Kürze der zumeist zu einer qualitativen Untersuchung nötigen Zeit.

Für die Mehrzahl der Reaktionen genügt nach Behrens die Anwesenheit des 100. Teiles eines Milligrammes des Stoffes, auf den geprüft wird, für einige Elemente sogar schon der 100 000. Teil eines solchen und noch weniger. Um die vielen Nullen zu vermeiden, hat Behrens den 1000. Teil eines Milligramms als Einheit genommen und als $\mu g = 0{,}001$ mg bezeichnet. In den meisten Fällen liegt also die untere Grenze für die erforderliche Größe einer Probe in ihrer Wahrnehmbarkeit und in der Möglichkeit, mit ihr zu operieren. Was die Zeitdauer einer Untersuchung betrifft, so gibt Behrens an, daß die Prüfung einer Lösung, welche die Elemente Ca, Mg, Zn, Mn, Co, Ni enthielt, in 40 Minuten, die einer anderen, die Ag, Hg, Pb, Bi, Sn, Sb, As enthielt, in einer Stunde vollendet wurde. Man beachte wohl, daß dies natürlich nur für den geschulten Beobachter gilt.

1. Die Gerätschaften.

Zur mikrochemischen Analyse sind folgende Hilfsmittel erforderlich:

1. Ein Mikroskop. Da die mikrochemische Analyse, wie vorher ausgeführt wurde, sich zumeist auf eine mikroskopische Kristallbestimmung stützt, so ist das erste Erfordernis ein Mikroskop. Ein gewöhnliches Mikroskop von 40- oder 50- bis 300facher Vergrößerung ist in vielen Fällen aus-

[1]) J. L. C. Schroeder van der Kolk, Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898. 60 Seiten. — Für viele Fälle gibt auch O. Lehmann, Die Kristallanalyse oder die chemische Analyse durch Beobachtung der Kristallbildung mit Hilfe des Mikroskopes (Leipzig 1891) brauchbare Winke.

reichend, für viele andere aber ist ein mineralogisches Mikroskop, mit Polarisationsvorrichtung und drehbarem Tische, direkt notwendig, so daß man wohl gleich ein solches zu den mikrochemischen Arbeiten heranzieht. Das Arbeiten mit den verschiedenen Reagentien kann für das Mikroskop schädlich sein, weshalb man bei den mikrochemischen Arbeiten nicht gerade zu dem besten zur Verfügung stehenden Mikroskope greift. Ein älteres Mikroskop wird in vielen Fällen noch gute Dienste leisten können. Wenn man ein besonderes Mikroskop für mikrochemische Arbeiten beschafft, so beachte man folgendes: Sehr wünschenswert ist ein Instrument mit langer Brennweite, bei welchem das Objektiv möglichst weit vom Objekte entfernt ist; dadurch wird das Auslesen der Substanz und das Hinzufügen von Reagentien wesentlich erleichtert und die unterste Linse der Einwirkung der verschiedenen sich entwickelnden Dämpfe weniger ausgesetzt. Es ist ferner zweckmäßig, daß im Gegensatze zu petrographischen Mikroskopen die Objektive schwach und die Okulare stark sind, weil man dadurch ein größeres und lichtstärkeres Gesichtsfeld erhält. Stärkere Vergrößerung erzielt man hier zweckmäßiger durch Anwendung stärkerer Okulare. Es ist gut, wenn eines der Okulare mit einer Mikrometerskala versehen ist. — Um die unterste Linse vor schädlichen Einwirkungen von Säuren zu schützen, ist folgendes zu beachten: Der große Fokalabstand macht nur bei Anwendung von Flußsäure, Kieselflußsäure und Fluorammonium besondere Vorsichtsmaßregeln notwendig. In allen anderen Fällen genügt ein häufiges Abwischen des Objektivs mit reinem Fließpapier, um es jahrelang in brauchbarem Zustande zu erhalten[1]). In den genannten Fällen sichert man die Linse in der Weise, daß man mit Hilfe eines Tropfens Wasser oder Glyzerin ein kleines rundes Deckgläschen unmittelbar an ihr befestigt, oder indem man sich aus einem Deckgläschen, an welches man an den vier Ecken kleine, aus Kork geschnitzte Füße anklebt, ein durchsichtiges Tischchen herstellt, welches man über die zu prüfende Flüssigkeit auf dem Objektträger unter das Mikroskop stellt. Bei Anwendung von Flußsäure bestreicht man vorher das Gläschen mit einer sehr verdünnten Lösung von Kanadabalsam in Äther. Salz- und Salpetersäure schaden bei Anwendung in Verdünnung der Linse nicht; die Benutzung konzentrierter Säure erfordert die gleichen Vorkehrungen, wie die Flußsäure. Selbstverständlich muß nach jedesmaligem Gebrauche das Mikroskop sorgfältig gereinigt werden. — Geeignete Mikroskope mit allen genannten Vorrichtungen sind in den bekannten (auch auf S. 671 genannten) größeren Handlungen zum Preise von etwa 150 bis 200 Mark erhältlich.

[1]) Natürlich müssen Schwefelwasserstoff und Schwefelammonium dem Mikroskopierraume unter allen Umständen fernbleiben. Man führt die mikrochemischen Arbeiten deshalb und aus anderen Gründen am besten nicht in einem Raume aus, in dem gleichzeitig andere chemisch-analytische Arbeiten vorgenommen werden.

2. Objektträger. Sie dienen sowohl als Träger des zu untersuchenden, fertigen Präparates, wie zu dessen Herstellung durch Aufschließung und Verdampfung. Man wendet am besten das bei petrographischen Arbeiten übliche Gießener Format von 48 × 28 mm, nicht das sogenannte englische Format von 76 × 26 mm an. — Wenn man die vier Kanten rund schmilzt und gleichmäßig umbiegt, kann man sie auch an Stelle der beim Mikroskop beschriebenen Schutztischchen bei Sublimationen und Aufschließungen mit starken Säuren, sowie zum Schutz der Präparate vor Staub und zur Verlangsamung der Verdunstung benutzen. In vielen Fällen genügen hierzu auch kleine Uhrgläser. Ein besonderer Mikroexsikkator ist auf S. 705 beschrieben. — Benutzt man zur Aufschließung solche Säuren, die dem Glase Bestandteile entziehen (Salzsäure und fluorhaltige Säuren), so muß der Objektträger vorher mit einer schützenden Schicht von Kanadabalsam überzogen werden.

Zu diesem Zwecke bringt man auf das Glas einige Tropfen Kanadabalsam und erwärmt ihn über einer Flamme so weit, daß die sich bildenden Bläschen verschwinden und der Balsam nach dem Erkalten eine feste Harzkonsistenz annimmt. Zugleich wendet man, während der Balsam noch flüssig ist, das Objektglas so, daß die erhärtende Balsamschicht sich möglichst dünn und gleichmäßig ausbreitet. Zu starkes Erhitzen erzeugt leicht eine unangenehme gelbe Farbe oder Rußbildung, und zu langes Erhitzen veranlaßt leicht Sprünge im Kanadabalsam. Man vermeidet diese Übelstände und erhält zugleich glattere Überzüge, wenn man sich einer Lösung von schon erhärtetem Kanadabalsam in Xylol oder Schwefelkohlenstoff bedient. Zu diesem Zwecke erhitzt man den Balsam in einer flachen Schale so lange, bis ein gekühltes Stück die geeignete Härte besitzt, und löst es alsdann in so viel Xylol oder Schwefelkohlenstoff auf, daß die Lösung etwa die Konsistenz von Olivenöl besitzt (vgl. die auf S. 662 erwähnten Tuben und die dort für die Aufbewahrung selbst hergestellten verdünnten Balsams angegebene Flasche). Von dem mit dieser Lösung überzogenen Objektträger verdunstet Xylol langsam, Schwefelkohlenstoff rascher bei warmem Wetter von selbst, bei kaltem nach schwachem Erwärmen, und der Objektträger ist zum Gebrauche fertig. Derartige Gläser widerstehen verdünnten Säuren geraume Zeit. Nach dem Gebrauche werden sie in kaltem Wasser abgewaschen und mit weicher Leinwand getrocknet. Dünne Platten von nahezu farblosem Zelluloid (zu beziehen z. B. von Dr. R. Müncke, Berlin NW., Luisenstraße 58) verdienen wegen ihrer Dauerhaftigkeit und Formbarkeit den Vorzug vor den gefirnißten Gläsern. Man formt sie nach Behrens durch Pressen zwischen Glasplatten oder Uhrgläsern, die durch Eintauchen in siedendem Wasser erhitzt sind. Von Säuren werden sie bei gewöhnlicher Temperatur nicht angegriffen, dagegen durch Alkohol und durch Alkalien getrübt. Gelatineplatten können bei gewöhnlicher Temperatur ebenfalls an die Stelle gefirnißter Gläser treten. — Flache Uhrgläser werden des umgebogenen Randes wegen dann zu nehmen sein, wenn größere Mengen von Flüssigkeit angewandt werden sollen.

3. Ein Platinlöffelchen von 9—15 mm Durchmesser mit Stiel, etwa 2 g schwer, dient zum Aufschließen mit kohlensauren Alkalien oder schwefelsaurem Kali oder zum Erhitzen mit Flußsäure.

4. Demselben Zwecke kann ein kleines viereckiges Platinblech dienen, dessen Ränder man nötigenfalls umbiegt.

5. Ganz kleine Proben werden, wie bei der Lötrohranalyse, in der Schlinge eines Platindrahtes mit kohlensauren Alkalien aufgeschlossen.

6. Ein kurzer, mit einem Ende in einen Glasstab eingeschmolzener Platindraht dient zum Umrühren bei Aufschließungen.

7. Eine Pinzette, wenn möglich mit Platinspitzen.

8. Ein ganz dünnes Platinblech mit einer winzigen, konischen Durchbohrung in der Mitte. Es dient zur Isolierung und Aufschließung von Mineralien in Dünnschliffen. Zu diesem Zwecke entfernt man zunächst das Deckgläschen und den etwa noch vorhandenen leicht schmelzbaren Kanadabalsam, bedeckt den Schliff mit schwer schmelzbarem, läßt ihn hart werden und stellt dann unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung das zu untersuchende Mineral in die Mitte des Gesichtsfeldes ein. Darauf schiebt man das durchbohrte, sorgfältig gereinigte dünne Platinblech so unter das Mikroskop, daß die trichterförmige Öffnung sich oben befindet und genau über dem zu untersuchenden Mineral liegt. Hierauf legt man den Dünnschliff vorsichtig so lange auf das Wasserbad, bis der nun schmelzende Kanadabalsam aus der Öffnung des Platinbleches hervorquillt. Sollte er zu schwer zu schmelzen sein, so legt man das Präparat auf einen Asbestfilz, den man mit einer kleinen Flamme so lange schwach erhitzt, bis der angegebene Zweck erreicht ist. Darauf läßt man erkalten und wäscht den die Öffnung füllenden Kanadabalsam mit einem in Alkohol getauchten Haarpinsel sorgfältig aus, indem man von Zeit zu Zeit mit reinem Löschpapier den Alkohol von dem Deckgläschen wegnimmt und teils unter der Lupe, teils unter dem Mikroskop beobachtet, ob das zu untersuchende Mineral frei liegt oder nicht. Ist ersteres der Fall, dann ist es seitlich von der Öffnung von Kanadabalsam umschlossen, und ein auf die Öffnung des Platinbleches gebrachter Tropfen eines Lösungsmittels kann jetzt nur noch auf das zu untersuchende Mineral einwirken.

9. Wenn man sich eines Lösungsmittels bedient, durch welches Glas nicht angegriffen wird, so kann man an Stelle des Platinblechs auch ein mit einer ähnlichen feinen Öffnung versehenes Deckgläschen benutzen.

Zur Anfertigung einer solchen Öffnung von $\frac{1}{4}$—$\frac{3}{4}$ mm Durchmesser verfährt man folgendermaßen: gewöhnliche Deckgläschen von 18 mm Seitenlänge taucht man in geschmolzenes Wachs, nimmt sie wieder heraus, macht nach dem Erkalten mit einer Nadelspitze eine Öffnung von der gewünschten Größe in das Wachs der einen Seite, und bedeckt diese mit einem Tropfen Flußsäure, den man so lange erneuert, bis das Gläschen durchgefressen ist. Nach der Beseitigung des Wachses findet man auf der oberen Seite des Gläschens eine trichterförmige Vertiefung, die in einem mehr oder weniger feinen Loche endigt, dessen Durchmesser man mit Hilfe der Spitze einer Stopfnadel erweitern kann.

10. Zur Entnahme größerer Tropfen aus einer Flüssigkeit dienen dünne, unten zugespitzte Glasstäbe.

11. Ein Guttaperchastab tritt an ihre Stelle bei der Entnahme von Flußsäure.

12. Mit Hilfe eines am einen Ende zum Häkchen umgebogenen, am anderen in einen Glasstab eingeschmolzenen dünnen Platindrahtes kann man sehr kleine Tröpfchen erhalten.

Zieht man das eingetauchte Häkchen rasch aus der Flüssigkeit, so erhält man ein größeres, zieht man es langsam heraus, ein kleineres Tröpfchen. Draht und Häkchen müssen vor und nach jedem Gebrauch in reines Wasser getaucht werden.

13. Zur Aufsaugung und Verteilung kleiner Flüssigkeitsmengen dienen kleine Pipetten mit kleiner Spitze.

Man fertigt sie am besten in der Weise an, daß man eine große Anzahl von Glasröhren zu Kapillaren auszieht. Man wirft sie nach dem Gebrauche, falls sie mit etwas anderem, als reinem destillierten Wasser in Berührung gekommen sind, einfach fort, da ihre Herstellung einfacher als die niemals ganz zuverlässige Reinigung ist.

14. Ein kleiner Achatmörser.

15. Ein Wasserbad.

Eine Porzellanschale, in welcher Wasser zum Kochen gebracht wird, bedeckt man mit einer Glas- oder Blechplatte, die zum Entweichen des Wasserdampfes einen kleinen Ausschnitt besitzt, und stellt darauf ein kleines umgekehrtes Pappschächtelchen, auf das man den zu erhitzenden Objektträger legt, wenn nur gelinde Erwärmung notwendig ist. Soll die Flüssigkeit auf dem Objektträger bis nahe zum Siedepunkte erhitzt werden, so legt man ihn direkt auf die Glasscheibe dieses kleinen Wasserbades.

16. Der Brenner, welcher die zur direkten Erwärmung erforderliche Flamme liefert, muß so konstruiert sein, daß die Flamme beliebig verkleinert werden kann[1]).

Erzeugung einer Flamme von 5 mm Länge muß möglich sein, da eine Flamme von 1 cm Länge für das Erhitzen und die Konzentration eines kleinen Flüssigkeitstropfens zu groß ist. Gewöhnlich genügt ein Bunsenscher Brenner, von dem man die Röhre, in welcher Gas und Luft sich mischen, abgeschraubt hat. Ist kein Gas zur Hand, so ist eine Ölflamme der viel zu großen Alkoholflamme vorzuziehen.

Das Eindampfen des Lösungsmittels läßt sich nach Schroeder van der Kolk sehr bequem vornehmen mittels einer kleinen Platinschlinge, die durch ein Chromsäureelement glühend gemacht ist. Die Kristallisation vollzieht sich hier sehr viel sicherer, wie wenn man die ganze Flüssigkeitsmenge über einer Flamme erhitzt.

17. Für Filtrationszwecke sind kleine Trichter mit Fließpapierfiltern, zum Teil unter Anwendung verdünnter, saugender Luft empfohlen, aber für mikrochemische Arbeiten wenig geeignet. Sie werden übertroffen durch eine von Beudant vorgeschlagene, von Streng erweiterte

[1]) Eine besondere mikrochemische Lampe nach H. Behrens wird von Dr. Krantz in Bonn zum Preise von 6 Mark in den Handel gebracht.

Methode: Man schneidet ein etwa 5 cm breites und langes Mineralienkästchen so zu, daß seine Höhe auf der einen Seite etwa 10 mm, auf der entgegengesetzten aber 12 mm beträgt; die beiden anderen einander gegenüberliegenden Seiten sind schief abgeschnitten, so daß, wenn man das Kästchen umgekehrt auf den Tisch stellt, seine nach oben gerichtete Bodenfläche mit der Tischfläche einen kleinen Winkel bildet. Auf diese schwach geneigte Fläche legt man den Objektträger mit der zu filtrierenden Flüssigkeit so, daß ein 2 mm breites, etwa 25 mm langes, unten zugespitztes Streifchen angefeuchteten Filtrierpapiers mit der oberen, abgestumpften Seite die Flüssigkeit berührt, während das zugespitzte Ende die Mitte eines am Fuße des Gestellchens befindlichen Objektträgers berührt. Durch Kapillarattraktion wird nun die Lösung auf den untenliegenden Objektträger geführt, während oben die feste Substanz zurückbleibt. Durch allmählichen Zusatz einzelner Wassertropfen kann sie ausgewaschen werden.

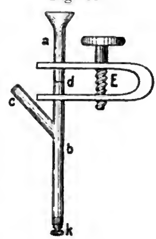
Bei dieser Art des Filtrierens kommt es oft vor, daß die unlösliche, zu filtrierende Substanz sich am Papierstreifen entlang bewegt und das Filtrat verunreinigt. Um dies zu vermeiden, schneidet man ein gegabeltes Filterstreifchen, etwa in der Form eines Y, legt die beiden oberen Arme auf den Objektträger, auf dem sich die zu filtrierende Flüssigkeit befindet, so auf, daß die untere Spitze des einspringenden Winkels noch etwas oberhalb des unteren Randes des Objektträgers liegt, bedeckt den Raum unterhalb jener Spitze mit einem etwa 4 mm breiten Glasstreifchen, was den Zweck hat, das Filter fest an den Objektträger zu drücken, schneidet den dritten Arm des Filters spitz zu, legt diese Spitze auf den untenliegenden Objektträger, welcher das Filtrat aufnehmen soll und leitet nun die zu filtrierende Flüssigkeit in den einspringenden Winkel des Filterchens, wodurch die Filtration in Gang gesetzt wird. Durch Zusetzen von Wassertropfen kann auch hier das Filtrat *und* das Filter ausgewaschen werden.

Mitunter ist es nötig, das Filtrat auf einem möglichst kleinen Raume des Objektträgers zu vereinigen. In diesem Falle macht man den Filterstreifen möglichst schmal, kurz und spitz, legt den Objektträger, welcher das Filtrat aufnehmen soll, auf die Glasplatte des Wasserbades (siehe S. 703), läßt von der Spitze des Filterstreifchens ein sehr kleines Tröpfchen auf den Objektträger gleiten, verdampft dieses, läßt auf die getrocknete kleine Kreisfläche ein zweites Tröpfchen des Filtrats herabfließen, verdampft wieder und wiederholt dies so lange, bis die ganze zu filtrierende Lösung auf dem kleinen Raum vereinigt ist (konzentrierende Filtration).

In einzelnen Fällen wird der Filterapparat (Fig. 316) nach *Haushofer* gute Dienste leisten. Dieser besteht aus zwei Glasröhren *a* und *b* von gleicher Weite — 4 mm lichter Durchmesser bei mindestens 1 mm Wandstärke —, welche an den gegeneinander gekehrten Enden glatt abgeschliffen und in einer federnden Holz- oder Metallklammer *E* mit Klemmschraube so befestigt sind, daß sie mit den abgeschliffenen

Enden genau gegeneinander gepreßt werden können. Die Klammer kann zweckmäßig mit einem Stativ leicht lösbar verbunden sein. Die obere Glasröhre besitzt allenfalls eine trichterförmige Erweiterung zum Eingießen der zu filtrierenden Flüssigkeit; die untere Glasröhre ist mit einem schief aufwärts gerichteten kommunizierenden Rohrstücke versehen, über welches ein Kautschukschlauch zum Saugen geschoben wird; am unteren Ende ist sie während der Filtration durch einen Kork oder einen eingeschliffenen Glasstöpsel *k* verschlossen. Soll filtriert werden, so bringt man zwischen die abgeschliffenen Enden der beiden Glasröhren bei *d* ein doppeltes angefeuchtetes Scheibchen von Filtrierpapier, welches den Rand der Glasröhren etwa um 1 mm überragt, preßt vermittels der Schraube *E* die Enden der Röhen sanft, aber genügend aneinander und saugt an dem an *c* befestigten Kautschukschlauch. Die Filtration (selbst eines frisch gefällten Niederschlages von Baryumsulfat) geht in kürzester Zeit klar und glatt von statten; leicht läßt sich damit ein ausreichendes Auswaschen verbinden. Nach Lösung der Klemmschraube und sanftem Öffnen der Feder läßt sich das Scheibchen von Filtrierpapier mit Hilfe einer kleinen Zange abnehmen. Der Rückstand befindet sich in einem kleinen Kreise von 4 mm Durchmesser angesammelt und kann mit Hilfe einer feinstrahligen Spritzflasche ohne erheblichen Verlust von dem Papier getrennt und weiter untersucht werden.

Fig. 316.



Für größere Flüssigkeitsmengen muß das untere Glasrohr natürlich eine größere Länge erhalten, oder es muß durch eine kugelförmige Erweiterung desselben vorgesorgt werden. Letztere bedingt jedoch den Übelstand schwierigerer Reinigung.

Wenn nur der Niederschlag weiter untersucht werden soll, es also auf die Lösung nicht ankommt, so wird man diese mit einem Stück Filtrierpapier oder gebranntem Tone absaugen.

18. Ein Mikroexsikkator ist von Schroeder van der Kolk beschrieben worden[1]), namentlich zur Kristallisation hygroskopischer Salze. Er ist einem gewöhnlichen Exsikkator vorzuziehen, wenn die Verdunstung ziemlich rasch erfolgen soll. Ein besonders dicker Objektträger ist mit einer eingeschliffenen, geräumigen Aushöhlung versehen, in die man einen Tropfen konzentrierter Schwefelsäure bringt. Diese Öffnung wird mit einem Deckglase überdeckt, an dessen Unterseite die zu untersuchende Lösung gebracht ist. Sie ist in nicht zu großen Tropfen zu verwenden, da sonst zu leicht die Lösung mit der Schwefelsäure in Berührung gelangt. — Dieser Mikroexsikkator kann auch als Kühlapparat gebraucht werden zur Beobachtung der Kristallbildung bei tieferen Temperaturen. Das Deckglas wird dann mit einem Tropfen Schwefelkohlenstoff oder Äther als Kälteerzeuger überdeckt.

---

[1]) Schroeder van der Kolk, Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898. S. 6, 42. — Zeitschr. f. phys. Chemie. 1893. Bd. 11. S. 172.

19. Zum Aufschließen der Silikate mit Flußsäure wird die auf S. 613 (Fig. 283) beschriebene Bleidose von Graber zweckmäßig verwandt. Man kann an Stelle des Platinschüsselchens *S* (Fig. 283) Gelatine- oder Zelluloid-Platten oder gefirnißte Objektträger, vielleicht auch ein kleines Platinblech, verwenden.

20. Filtrierpapier in handgroßen Stücken, zum Aufwischen von Flüssigkeiten, Reinigen der Gläser u. s. w.

2. Die Reagentien.

Die wichtigsten Reagentien zur Nachweisung der in den Gesteinen am häufigsten auftretenden Bestandteile, auf welche diese Zusammenstellung sich beschränken muß, sind:

1. Destilliertes Wasser. Wird in kleinen Tropfflaschen aufbewahrt und ist häufig zu erneuern, da es leicht Spuren von Alkalien und Kieselsäure aus dem Glase aufnimmt. — Das destillierte Wasser kann man sich noch besonders reinigen, wenn man es in einem mit einem Uhrglase bedeckten Becherglase erhitzt und die auf der konvexen Seite des Uhrglases zusammenlaufenden Tropfen benutzt. — 2. Schwefelsäure, Mischung von gleichen Teilen konzentrierter Säure und destillierten Wassers. — 3. Salpetersäure, Mischung von gleichen Teilen destillierten Wassers und Salpetersäure vom spezifischen Gewicht 1,4. — 4. Salzsäure. Die gewöhnliche reine Säure vom spezifischen Gewicht 1,12. — 5. Flußsäure. Dieselbe ist in kleinen Ebonitfläschchen mit ebensolchem Stöpselverschlusse (bei Dr. Krantz, Bonn oder R. Müncke, Berlin, Luisenstraße 58 erhältlich) aufzubewahren. Da die gewöhnliche käufliche Flußsäure gewöhnlich nicht rein genug ist, so wird man sie in dem auf S. 612—613 beschriebenen Cohenschen Bleitopf oder der Graberschen Bleidose in geringen Mengen, zu jedem neuen Aufschließen, frisch überdestillieren. — 6. Kieselfluorwasserstoffsäure. Wie 5. — 7. Fluorammonium. Wie 5. — 8. Oxalsäure. — 9. Ammoniakflüssigkeit. Nicht in der Nähe von Salpeter- oder Salzsäure aufzubewahren. — 10. Natriumbikarbonat. — 11. Kaliumnitrit. — 12. Ammoniumkarbonat. Die Verflüchtigung wird durch Einfetten des Stöpsels mit Vaseline verhütet. — 13. Cäsiumchlorid. — 14. Chlornatrium. — 15. Rubidiumchlorid. — 16. Chlorammonium. — 17. Kaliumferrocyanid. — 18. Kaliumbioxalat. — 19. Natriumphosphat. — 20. Ammoniummolybdat. — 21. Thalliumnitrat. — 22. Wismutnitrat. — 23. Uranylacetat. — 24. Platinchlorid. — 25. Silbernitrat. — 26. Lackmuspapier. — 27. Dünnes Eisenblech. — 28. Zink, in Blechen, zu denen Stäbchen reinen Zinks nach Erwärmung auf 150° ausgeschlagen sind. — 29. Zinn als Blech und als Stanniol.

Das gesamte, zur mikrochemischen Analyse erforderliche Material an Gerätschaften und Reagentien, mit Ausnahme des Mikroskopes, läßt sich, nach den Angaben von Behrens, mit Leichtigkeit in einem kleinen Köfferchen von 8 × 10 × 15 cm Größe unterbringen. Die Reagentien werden dann in Glasröhrchen (kleinen Präparatengläschen) aufbewahrt und sind nur zu mikrochemischen Arbeiten zu verwenden. Praktische Zusammenstellungen der in Betracht kommenden Gerätschaften und Reagentien werden z. B. von Dr. Krantz, Bonn in den Handel gebracht, von denen die nach den Angaben von Streng 80 Mark, nach den Angaben von H. Behrens 95 Mark (kleinere Ausgabe 50 Mark) kostet.

Bei der so außerordentlichen Schärfe der mikroskopischen Reaktionen, die wohl nur durch gewisse spektroskopische übertroffen wird, ist die absolute Reinheit und Reinhaltung der Reagentien das wichtigste Erfordernis. Mancher Mißerfolg bei mikrochemischen Arbeiten ist der zu geringen Sauberkeit bei dem Arbeiten oder Unreinlichkeiten der Reagentien zuzuschreiben.

Die unter 2—4 genannten Säuren müssen von Zeit zu Zeit auf Calcium, Kalium und Ammonium geprüft werden; man verdampft zu diesem Zwecke einige Tropfen auf Platinblech. Bleibt ein nennenswerter Rückstand, so ist die Säure nicht mehr zu gebrauchen. Bleibt ein flüchtiger Rückstand von Ammoniaksalzen, so ist der Stopfenverschluß des betreffenden Gefäßes ungenügend. Auch die Flußsäure darf, wenn sie brauchbar sein soll, nicht den geringsten Rückstand beim Erhitzen auf Platinblech hinterlassen und ist daher zumeist, wie schon auf S. 706 erwähnt, zu reinigen durch Destillation in einem Bleigefäß.

Die käufliche Kieselfluorwasserstoffsäure ist niemals hinreichend rein, schon deshalb nicht, weil sie in Glasgefäßen aufbewahrt wird und aus ihnen verschiedene Substanzen löst. Sie muß daher durch Destillation gereinigt werden. Wenn man sie sich selbst herstellen will, so leite man das aus Fluorbaryum, Quarzpulver und Schwefelsäure in einer Bleiretorte erzeugte Fluorsilicium in eine mit Wasser gefüllte Platinschale, dekantiere nach entsprechender Verdünnung auf eine 3—4prozentige Säure vom spezifischen Gewichte 1,025—1,03 in eine gut gereinigte Kautschukflasche, und hebe die für die Aufschließungen erforderlichen kleinen Mengen mit einem Kautschukstabe heraus. — Man wird nach dem Vorschlage von Behrens an Stelle von Kieselfluorwasserstoffsäure besser Ammoniumfluosilikat nehmen.

3. Die Aufschließung.

Für die Vorbereitung der zu untersuchenden Körper, die Aufschließung, gibt es verschiedene Wege. Für die gesteinsbildenden Silikate ist die einfachste, aber nicht völlig einwandfreie Methode die von Bořicky, da sie weder Gefäße noch Filtrationen erfordert und im wesentlichen auf die Anwendung eines einzigen Reagens beschränkt ist. Sie beruht darauf, daß die Kieselfluorverbindungen der in den Gesteinen am weitesten verbreiteten ein- und zweiwertigen Elemente (Kalium, Natrium, Lithium, Calcium, Strontium, Baryum, Magnesium. Eisen) entweder an sich schon hinreichend charakteristische Formen besitzen oder doch durch einfache weitere Behandlungsweisen leicht unterschieden werden können. Zur Untersuchung verwendet man am besten ein stecknadelkopf- bis hirsekorngroßes Körnchen des betreffenden Minerals. Die Aufschließung erfolgt auf einem Objektträger, der vorher mit einer dünnen Schicht von Kanadabalsam überzogen wurde, oder auf den schon auf S. 701 erwähnten Zelluloid- oder gegerbten Gelatineplatten. Auf die Mitte des so vorbereiteten Objektträgers legt man die zu untersuchende Probe, erwärmt gelinde und bedeckt mit einem Tropfen Kieselfluorwasserstoffsäure. Es ist dafür zu sorgen, daß das Objektiv des Mikroskops keinen Schaden leidet bei der Behandlung der Körner bezw. Präparate mit

Fluß- oder Kieselflußsäure. Man wird das Objektiv in vielen Fällen, namentlich bei Anwendung schwächerer Vergrößerung, durch angeklebte Glasplatten (Deckgläser), besser noch durch Glimmerspaltungsstücke, schützen können.

Es ist durchaus notwendig, daß die Säure chemisch rein ist. Das Aufschließen wird, wenn man mit reiner Flußsäure arbeitet, zweckmäßig in der Graberschen Bleidose (S. 613, Fig. 283) oder einem ähnlichen Bleigefäß ausgeführt. Je nach der Menge der Substanz gibt man dann in das große Gefäß eine verschieden große Menge von roher rauchender Flußsäure. — Hat man das Probestückchen so mit der Säure bedeckt, daß es von ihr allseitig benetzt wird, so bringt man den Objektträger, immer die horizontale Lage beibehaltend, an eine vor Staub vollkommen geschützte Stelle einer horizontalen Unterlage und bedeckt ihn mit einem Becherglase, unter welches man auch noch ein Schälchen mit konzentrierter Schwefelsäure stellen kann. Nun läßt man das Ganze ruhig stehen, bis der Tropfen durch freiwillige Verdunstung verschwunden ist, wozu an freier, trockener Luft wenige Stunden, unter dem Glase etwa 24 Stunden erforderlich sind. Falls die Aufschließung der Probe noch unvollkommen ist, wiederholt man das Zugeben von Säure und läßt noch einmal verdunsten. Ist das Mineral, wie manche Glimmer, schwer aufschließbar, so behandelt man es am besten vorher in einem Platinlöffelchen mit Flußsäure und gibt dann erst Kieselflußsäure hinzu, die man, wie angegeben, abdampfen läßt.

Das Präparat ist nun bereits zur mikroskopischen Untersuchung geeignet. Die Kristallformen der neu entstandenen Fluorsiliciumverbindungen werden viel vollkommener, wenn man sie erst noch einmal in Wasser aufnimmt und aus diesem durch langsame Verdunstung auskristallisieren läßt. Zur mikroskopischen Untersuchung benutzt man am zweckmäßigsten eine 200—400fache Vergrößerung.

Diese von Bořicky angegebene Methode steht den anderen Verfahren sehr nach (vgl. die näheren Angaben auf S. 716—719).

Behrens schlägt folgende Aufschließungen vor: 1. mit Wasser, 2. mit Salzsäure, 3. mit Flußsäure.

1. Die Untersuchung mit Wasser auf lösliche Bestandteile wird nur in seltenen Fällen bei Gesteinen anzuwenden sein, in denen die Gegenwart von löslichen Chloriden und Sulfaten vermutet wird, also nur bei wenigen Eruptivgesteinen.

Die Auslaugung erfolgt durch Kochen des Gesteinspulvers mit destilliertem Wasser im Platinlöffel. Die konzentrierte Lösung wird in der später angegebenen Weise untersucht. Findet man nur Spuren der vermuteten Salze, so wiederholt man die Untersuchung ohne Anwendung von Gesteinspulver, um sich von der Reinheit der angewandten Reagentien zu überzeugen.

2. Vor dem Aufschließen mit Salzsäure muß das Gestein im Achatmörser so fein gepulvert werden, daß das Mehl zwischen den Fingern kein Gefühl von Rauhigkeit mehr erzeugt. Man bringt etwa 20 mg des Pulvers in einen Platinlöffel von 1 cm Durchmesser, gibt reine Salzsäure (spez. Gew. 1,12) dazu, wozu man sich einer winzigen Pipette bedient, und zwar so viel, daß sie das Pulver bedeckt, läßt etwa 1/2 Minute kochen, bis das Pulver eben anfängt, trocken zu werden, nimmt mit Wasser auf, erwärmt nochmals, läßt eine Minute absetzen und bringt dann die Lösung auf einen Objektträger. Ist sie trübe, so dampft man zur Trockne ab, nimmt abermals mit Wasser auf, läßt die klare Lösung auf ein anderes Glas abfließen, und dampft auf das ursprüngliche Volumen ein. — Will man mit Salzsäure auf einer Glasunterlage aufschließen, so muß man sie vorher darauf prüfen, ob sie keine Alkalien oder Kalkerde abgibt, zu welchem Zwecke man einige Tropfen verdünnter Säure auf ihr eindampft, wieder auflöst und, wie unten angegeben, auf Kali, Natron und Kalkerde prüft. — Die Lösung des Salzsäureauszuges wird zumeist auf Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium und Aluminium geprüft.

3. Der Rückstand nach wiederholter Behandlung mit Salzsäure wird einer fraktionierten Zersetzung mit Flußsäure unterworfen. Man nimmt entweder reine, in Ebonitgefäßen aufbewahrte oder selbst gereinigte Flußsäure oder Fluorammonium. Von letzterem verwendet man etwa das halbe Volumen des zu untersuchenden Pulvers, läßt Salzsäure darüber fließen und erwärmt gelinde. Die Aufschließung erfolgt ebenso wie die mit Flußsäure in einem kleinen Platingefäße. Der trockene Rückstand wird mit Schwefelsäure befeuchtet und so lange erwärmt, bis keine weißen Dämpfe mehr entweichen. Hat man Fluorammonium benutzt, so muß bis zur beginnenden Rotglut erwärmt werden, damit mit Sicherheit auch die letzte Spur davon vertrieben wird. Da hierbei eine teilweise Zersetzung der gebildeten Sulfate von Eisen und Aluminium zu schwer löslichen basischen Salzen eintritt, so gibt man nochmals verdünnte Schwefelsäure zu und erwärmt so lange, bis die Dämpfe von Schwefelsäure verschwinden. Der Rückstand wird mit Salzsäure aufgenommen; die weitere Behandlung der gelösten Salze ist dieselbe wie bei dem Salzsäureaufschlusse.

4. An Stelle des Aufschließens mit Flußsäure wird man in vielen Fällen den Aufschluß in der Platinöse durch Schmelzen mit Natriumkarbonat oder mit diesem und Salpeter setzen.

4. Die Reaktionen.

a) *Ausführung der Untersuchung* (im wesentlichen nach Behrens).

Die bei dem Auszug mit Wasser, Salzsäure und Flußsäure oder nach dem Aufschlusse in der Platinöse mit Natriumkarbonat (eventuell nach

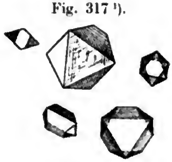
Zusatz von Salpeter) erhaltenen Lösungen verteilt man mittels einer Pipette auf eine Anzahl von Objektträgern und prüft nun mit verschiedenen Reagentien auf die vermuteten Stoffe. Es ist darauf zu achten, daß die Lösungen genügend verdünnt werden, da konzentrierte Lösungen meist nur unvollkommene Kristallform liefern. Man muß ein rasches Verdampfen ebenfalls vermeiden, da man dabei auch nur selten gut erkennbare Kristallformen erhält. Auch die Reaktion muß langsam verlaufen. Man bringt deshalb zumeist das Reagens in einem kleinen Tropfen auf dem Objektträger nicht direkt in die zu untersuchende Lösung, sondern neben den Tropfen der Lösung, verbindet dann beide miteinander mittels eines Glasstabes oder Platindrahtes, oder man stellt zwischen dem Reagens und der Lösung mittels eines feuchten Leinenfadens eine Verbindung her, welche durch Diffusion eine langsame Vermischung der Flüssigkeiten herbeiführt. Langsames Verdunsten bewirkt dann sehr oft, daß man an den Seiten Kristallisationen der Lösung und des Reagens, in der Mitte aber die des Reaktionsproduktes beobachten kann.

b) *Die einzelnen Reaktionen.*

Im folgenden werden (in alphabetischer Reihenfolge) wichtigere, für die mikrochemische Untersuchung geeignete Reaktionen der in Gesteinen am meisten verbreiteten Elemente beschrieben. Für die seltenen Elemente und namentlich für die schweren Metalle, wie in Bezug auf weitere, zum Teil ebenso gute Reaktionen, muß auf die in der Einleitung dieses Kapitels genannten Arbeiten und Lehrbücher, vor allem auf Behrens (Anleitung zur mikrochemischen Analyse, 1899) und Fuchs-Brauns (1907) hingewiesen werden, denen auch die folgenden Angaben entnommen sind:

Aluminium zeigt sich bei Behandlung der nicht zu sehr konzentrierten, schwach sauren oder neutralen Lösung (in Schwefelsäure) mit Cäsiumsulfat (oder -chlorid) in Form kleiner, farbloser, regulärer Kristalle (Oktaeder) von Cäsiumalaun (Fig. 317). Man kann auch ein Körnchen von Cäsiumsulfat (oder -chlorid) am Rande zugeben. Die richtige Konzentration ist von wesentlichem Einflusse auf das Gelingen. Enthält die Lösung mehr als 1 Prozent Aluminiumsulfat, so setzen sich an das Cäsiumchlorid dendritische Bildungen an; man muß dann ein kleines Tröpfchen Wasser zufügen und sie damit wieder auflösen. Anderseits erhält man nur schwierig gute Kristalle, wenn die Lösung weniger als 1/5 Prozent schwefelsaure Tonerde enthält. Es kommt also darauf an, die Mitte zwischen beiden Lösungen

Fig. 317 [1].



Vergr. 130.

[1]) Figur 317—321 nach Behrens.

zu suchen. Bei langsamem Verdunsten ohne Erwärmen erhält man dann ausgezeichnete Kristalle von Cäsiumalaun. Große Mengen von Alkalisalzen hemmen durch ihr Auskristallisieren die gute Entwicklung der Alaunoktaeder. Bei Anwesenheit von Calcium, Baryum, Strontium ist von Anfang an Schwefelsäure im Überschusse zuzusetzen. Eisenoxydlösungen geben ähnliche, leichter lösliche Alaunkristalle[1]). Das Eisen ist deshalb aus einer gemischten Lösung durch Natronlauge zu fällen und die Tonerde im Filtrate nachzuweisen.

Baryum wird als Baryumsulfat nachgewiesen. Der aus Baryumlösungen mit Schwefelsäure erhaltene unkristalline Niederschlag wird in heißer konzentrierter Schwefelsäure gelöst. Es entstehen beim Erkalten winzige, rechteckige Täfelchen und X-förmige Kristallskelette des rhombischen Systems. — Nachweis als Kieselfluorbaryum vgl. S. 718.

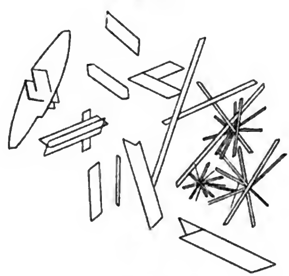
Blei. Nachweis als Bleichlorid durch Fällung mit verdünnter Salzsäure (eventuell Auflösen in Wasser; Abdampfen; Umkristallisieren). Es entstehen dünne länglich sechsseitige Tafeln (gerade Auslöschung) oder rhombische Täfelchen (diagonale Auslöschung), oft auch zu Bündeln und Gittern vereinigte Kristallskelette.

Calcium. Die beste Reaktion ist die mit Schwefelsäure, wobei sich Gips abscheidet. Die zu prüfende Substanz wird mit konzentrierter Schwefelsäure im Platinlöffel bis zur Trockene abgedampft, der Rückstand mit

Fig. 318.



Fig. 319.



Vergr. 200.

Wasser aufgenommen und ein Tropfen der Lösung auf dem Objektglase verdampft. Anstatt der Schwefelsäure kann man, falls die Substanz sich darin löst, auch Salzsäure nehmen und den mit Wasser aufgenommenen Rückstand mit einer geringen Menge verdünnter Schwefelsäure einengen.

[1]) Brauns, Zeitschr. d. D. geol. Ges. 1888. Bd. 40. S. 477.

Beim Verdunsten scheiden sich aus der Lösung zuerst am Rande mikroskopische Kriställchen und Kristallgruppen von Gips ab, wie sie in Figur 318 dargestellt sind. Aus sehr verdünnten Lösungen scheidet sich der Gips in feinen, meist garbenartig verwachsenen Nadeln aus, die beim Weiterwachsen schiefe Endflächen erhalten. Die Abbildung Figur 319 zeigt die vorherrschend auftretenden Kristallformen und die wichtigsten an ihnen zu beobachtenden Kantenwinkel. Die Schwalbenschwanzzwillinge des Gips treten so häufig auf, daß sie diese Reaktion außerordentlich charakteristisch für den Nachweis des Calciums machen. Nachweis als Kieselfluorcalcium vgl. S. 717 bis 718, Figuren 326—328.

C h l o r. Nachweis als Bleichlorid (vgl. S. 711) oder Silberchlorid. Letztere Reaktion zeigt sich bei Zusatz von geringer Menge Silbernitrat zu der schwefel- oder salpetersauren Lösung der Chlorverbindung, darauf folgender Übersättigung mit Ammoniak, Filtration und Verdunstung. Es bilden sich kleine, stark lichtbrechende, reguläre Kristalle (Oktaeder, Würfel) von Chlorsilber. Die Kriställchen werden am Lichte trübe, dunkler. — Über den Nachweis von Chlor in chlorhaltigen Mineralien (z. B. Sodalith) siehe S. 726.

C h r o m. Raschester Nachweis durch Boraxperle, vgl. S. 641.

E i s e n. E i s e n o x y d u l verbindungen geben mit Oxalsäure gelbgrüne, deutlich dichroitische, faßförmig prismatische, rhombische Kristalle von $FeC_2O_4 . 2H_2O$. E i s e n o x y d verbindungen geben mit Ferrocyankalium einen dunkelblauen, fleckigen Niederschlag von Ferrocyaneisen (Berliner Blau).

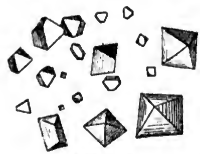
F l u o r (Angaben über die verschiedenen Fluorverbindungen mit Abbildungen siehe auch S. 716—719). Fluorhaltige Substanzen werden mit etwas amorphem Kieselsäurepulver und Schwefelsäure in einem Platinschälchen oder -tiegel erhitzt. Die sich entwickelnden Dämpfe werden in dem mit Wasser und etwas Schwefelsäure angefeuchteten Deckel aufgefangen. Auf einem mit Kanadabalsam überzogenen Objektträger setzt man zu dieser Lösung etwas Chlornatrium, worauf sich hexagonale Kristalle von Kieselfluornatrium bilden (vgl. Fig. 325—326, S. 717). — Von Schwefelsäure nicht angreifbare Silikate werden zuerst mit Natriumkarbonat aufgeschlossen. — In einigen Fällen genügt auch Schmelzen mit Phosphorsalz im Glasröhrchen, welches in der Nähe der Schmelze geätzt wird.

K a d m i u m vgl. Beschlag S. 642. Neben Zink vgl. S. 643.

K a l i u m. Nachweis als Kaliumchloroplatinat. Man gibt auf den Objektträger neben die neutrale oder schwach salzsaure Lösung einen Tropfen Platinchlorid, führt ihn mittels des Platindrahtes an die Lösung heran, erwärmt einen Augenblick und läßt dann erkalten. Dabei kristal-

lisieren zahlreiche dunkelgelbe Kristalle mit starkem Lichtbrechungsvermögen aus, deren Form, Größe und Vollkommenheit abhängig ist von der Konzentration der Lösung. Konzentrierte Lösungen liefern ein gelbes, kristallines Pulver, verdünnte dagegen schöne Kristalle des regulären Systems, die aus Oktaeder (Fig. 320), Oktaeder und Würfel, seltener Oktaeder und Rhombendodekaeder bestehen. Es entstehen ferner oktaedrische Skelette, sowie eigentümliche Wachstumsformen. Ein Tropfen reinen Alkohols befördert die Reaktion. Diese Reaktion ist so scharf, daß sie noch den 2000. Teil eines Milligrammes anzeigt (0,5 μg). Nachweis als Kieselfluorkalium vgl. S. 716 und Figur 323—324.

Fig. 320.



Vergr. 120.

Kohlenstoff. Nachweis von Karbonaten vgl. S. 721—722, 731 u. f.

Lithium[1]. Aus verdünnten Lösungen scheidet sich nach Zusatz von Ammoniumkarbonat während des Konzentrierens am Rande des Tropfens das Lithiumkarbonat in dünnen Prismen, Nadeln und stacheligen Aggregaten aus, die an Gipskristalle erinnern. Die Schwerlöslichkeit dieser Lithiumkarbonataggregate unterscheidet sie von den leichter löslichen Karbonaten des Kaliums, Natriums und Ammoniums. Kieselfluorlithium vgl. S. 717.

Magnesium. Wird unter dem Mikroskop am besten in den Lösungen nachgewiesen als Ammoniummagnesiumphosphat. Setzt man zu der Lösung Salmiak und phosphorsaures Natrium hinzu und dann einen Tropfen Ammoniak, so entstehen in der Kälte schneesternähnliche Nadeln des genannten Salzes (ähnlich Fig. 318). Fügt man aber zu der heißen Mischung von Natriumphosphat und Magnesiumsalz Ammoniak zu und läßt dann erkalten, so bilden sich briefkuvertähnliche, rhombisch-hemimorphe Kristalle, die bisweilen an den vier Seiten sowie auf der oberen Fläche symmetrische Einkerbungen zeigen und durch monströses Weiterwachstum in eigentümliche, sehr charakteristische Kristallskelette übergehen. Bisweilen finden sich unter den regelmäßig entwickelten Kristallen auch trapezförmige und dreieckige Körper, die den Hemimorphismus besonders hervorkehren. Nachweis als Kieselfluormagnesium vgl. S. 718 und Figuren 329—330.

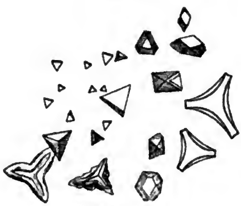
Mangan, besser durch die Phosphorsalz- und Boraxperle nachweisbar (vgl. S. 641).

[1]) Reaktion auf Borsäure und Lithium durch Schmelzen mit Ammoniumfluorid oder mit einem Gemenge von Flußspat und saurem schwefelsaurem Kali (Turnersche Probe) und Prüfung der Flammenfärbung. — N. W. Lord, Ammonium Fluoride as a blowpipe reagent. Chemical News. London 1884. XLIX. 253.

M o l y b d ä n verbindungen werden in der Platinöse mit größeren Mengen Salpeter und Soda geschmolzen, in Wasser gelöst, mit Salpetersäure angesäuert, worauf man unter Erwärmen eine Spur von Natriumphosphat zusetzt. Es bilden sich gelbe reguläre Körnchen (Oktaeder, Würfel, Rhombendodekaeder) von Phosphormolybdat, die in Ammoniak leicht löslich sind.

N a t r i u m. Nachweis als Natriumuranylacetat. Man verdampft die Lösung zur Trockne, setzt daneben auf den Objektträger einen Tropfen Essigsäure, in welcher in der Wärme einige Körnchen von chemisch reinem (Na-freiem) essigsauren Uranyl aufgelöst sind, und leitet diese Lösung mittels des Platindrahtes über die auf Natrium zu prüfende Substanz. Man dampft etwas ab, läßt verdunsten und beobachtet dann, ob sich essigsaures Uranylnatrium gebildet hat. Dieses besteht aus hellgelben, scharf ausgebildeten Kristallen des regulären Systems, welche das Tetraeder entweder allein oder mit Gegentetraeder oder mit Rhombendodekaeder zeigen (Fig. 321). Die Reaktion ist ungemein scharf, da das neu gebildete Salz nur 6,6 Prozent Na_2O enthält und daher auch geringe Natronmengen noch eine erhebliche Menge des Salzes liefern. Die gleichzeitig entstehenden Kristalle von essigsaurem Uranyl sind rhombisch und mit jenem nicht zu verwechseln.

Fig. 321.



Vergr. 50.

Bei Gegenwart von Magnesium erscheinen Kristalle von Magnesiumnatriumuranylacetat (die größeren Kristalle rechts in Figur 321).

Man erhält diese auch, wenn man als Reagens das essigsaure Uranylmagnesium anwendet; es entstehen dann rhomboedrische (stark doppelbrechende) Kriställchen, welche, wenn das Rhomboeder 2R nur untergeordnet vorhanden ist, täuschend an ein sogenanntes Ikosaeder, wenn 0R wenig entwickelt ist, an ein Deltoid-Ikositetraeder erinnern. Die Reaktion tritt auch bei Anwesenheit der geringsten Mengen von Natrium ein, da zu dem neugebildeten Tripelacetate nur 1,5 Prozent Natron erforderlich sind. Nachweis als Kieselfluornatrium vgl. S. 717 und Figur 325—326.

P h o s p h o r. Die Nachweisung der P h o s p h o r s ä u r e in Gesteinen, wo sie wohl fast immer an den Apatit gebunden ist, erfolgt am schärfsten mit molybdänsaurem Ammoniak. Die mit Salpetersäure zur Trockne verdampfte Substanz wird mit einem Tropfen einer salpetersauren Lösung des genannten Salzes versetzt, wobei sich zahlreiche schwefelgelbe Kriställchen von phosphormolybdänsaurem Ammoniak bilden, welche die

Formen des Oktaeders oder rhombischen Dodekaeders, aber meist mit abgerundeten Kanten besitzen (Fig. 322). Es muß dafür gesorgt werden, daß keine lösliche Kieselsäure vorhanden, Molybdänsäure aber im Überschusse vorhanden ist.

S c h w e f e l. Etwa vorhandene Sulfide müssen mit Natriumkarbonat und Salpeter, unlösliche Sulfate mit Natriumkarbonat geschmolzen werden. Die Schmelze wird in Wasser gelöst. Die Lösung ist vor dem Zusetzen von Reagentien schwach anzusäuern.

Fig. 322.



Die Fällung erfolgt als Calciumsulfat durch Behandlung mit einer Chlorcalcium- oder Calciumacetatlösung. Die sich bildenden Gipskristalle sind S. 711 beschrieben worden.

S i l i c i u m (vgl. auch S. 716—719 und Fig. 323—334) bei größeren Mengen Nachweis in der Phosphorsalzperle durch Bildung eines Kristallskelettes. — Ist kein Bor zugegen, so erhitzt man das Pulver im Platintiegel mit gepulvertem Kryolith (oder Flußspat) und konzentrierter Schwefelsäure und fängt die sich entwickelnden Dämpfe von Fluorsilicium in einem am Deckel des Tiegels hängenden Wassertropfen auf. Bei Zusatz eines Natron- bezw. Kalisalzes zu diesem Tropfen auf einem mit Kanadabalsam überzogenen Objektträger (oder einem Zelluloidplättchen) bilden sich die auf S. 716—717 abgebildeten Kristalle von Natrium- bezw. Kaliumfluosilikat. — Geringe Mengen des Pulvers kann man auch mit Flußsäure aufschließen und dann ein Natrium-(Kalium-)salz zusetzen.

T i t a n[1]). Nachweis in der Phosphorsalzperle (vgl. S. 641 und die oben auf S. 698 angegebene Arbeit von F l o r e n c e).

Z i r k o n[2]). Nach R o s e n b u s c h schmilzt man das feine Pulver der Probe im Platintiegelchen mit Soda im Gewichtsverhältnisse 1 : 2

[1]) Wenn es sich bei der Untersuchung kleiner isolierter Mengen nur um Unterscheidung von Rutil und Zirkon handelt, so kann man auch den Nachweis der Kieselsäure als Reaktion auf Zirkon verwenden. Nach L. v a n W e r v e k e genügt es, ein winziges Körnchen mit Soda am Platindraht zusammenzuschmelzen; die Perle gibt dann, mit Flußsäure auf einem mit Kanadabalsam überzogenen Objektträger behandelt, die charakteristischen Kieselfluornatriumsalze. — Vgl. weiter: S c h ö n n, Über das Verhalten des Wasserstoffsuperoxyds zu Molybdän- und Titansäure. Z. anorg. Ch. 1870. IX. 41—42. — R. F r e s e n i u s, Neue Reaktion auf Titansäure. Z. anorg. Ch. 1885. XXIV. 410—412. — W. F. H i l l e b r a n d, Warning against the use of fluoriferous hydrogenperoxide in estimating titanium. Journ. Amer. Chem. Soc. 1895. XVII. Nr. 9.

[2]) Vgl. auch: A. M i c h e l - L é v y et B o u r g e o i s, Sur les formes cristallines de la zircone et sur les déductions à en tirer pour la détermination qualitative du zircon. Comptes rendus. 1882. XCIV. S. 812—815; Bull. Soc. Min. 1882. V. S. 136

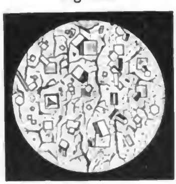
wenige Minuten bei lebhafter Rotglut. Die mit heißem Wasser, welches zweckmäßig mit HCl angesäuert sein kann, ausgelaugte Schmelze liefert durchsichtige, wasserhelle, oder durch Platin aus dem Tiegel gelblich gefärbte hexagonale Lamellen, welche sich gern glimmerartig übereinander packen. Zur Reaktion genügen 5 mg Zirkon. Hat man größere Mengen der Probe genommen und das Gewichtsverhältnis zur Soda wie 1 : 10 gewählt, so erhält man nach etwa 5 Minuten heller Rotglut von der ausgelaugten Schmelze einen kristallinen Rückstand quadratischer Kristalle.

Bei der Aufschließung der Silikate nach der Bořickyschen Methode mit Kieselfluorwasserstoffsäure sind die Alkalien und alkalischen Erden, sowie das Eisen in Kieselfluorsalze umgewandelt, die beim Verdunsten der Lösung auskristallisieren und häufig unter dem Mikroskop gut studiert werden können. Es ist aber immerhin, wie schon S. 707—708 erwähnt wurde, zu beachten, daß diese Methode den früher besprochenen sehr nachsteht.

Bei der Zersetzung der genannten Metalle entstehen die folgenden Verbindungen:

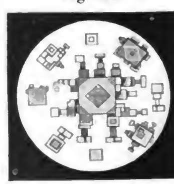
1. Kieselfluorkalium. Scharfkantige, ebenflächige, bei 400facher Vergrößerung immer noch sehr kleine reguläre Kriställchen (Fig. 323, in der auch zwei sechsseitige, hexagonale Kristalle von Kieselfluornatrium und ein dünnes Stäbchen von Kieselfluorcalcium abgebildet sind)[1]. Die gewöhnlichste Form ist der Würfel,

Fig. 323.



Vergr. 400

Fig. 324.



Vergr. 400.

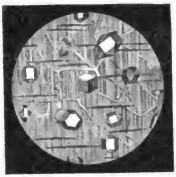
dessen Kriställchen bisweilen in zierlichen armleuchterartigen Gruppen (Fig. 324) vereinigt sind. Daneben treten auch Kombinationen des Würfels mit dem Oktaeder und dem Rhombendodekaeder auf. Bei Überschuß von Kieselflußsäure und Verdunsten derselben bei niedriger Temperatur und Gegenwart von vorwiegendem Natron kristallisiert manchmal das Kieselfluorkalium in größeren, anscheinend rhombischen Kriställchen von der Form ∞ Pn . m P∞ aus.

bis 140. — G. H. Bailey, On a method of separation and estimation of Zirconium. Journ. Chem. Soc. 1886. XLIX. S. 149—152 u. 481—485; vgl. auch: Ann. f. Chem. u. Pharm. 1886. CCXXXII. S. 352—357, sowie die auf S. 698 angegebene Arbeit von Florence.

[1]) Die Abbildungen 323—334 nach Bořicky.

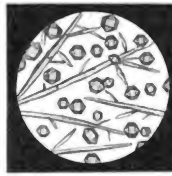
2. Kieselfluornatrium. Sechseckige Täfelchen und Sterne, kurze hexagonale Säulchen (Fig. 325 und 326, erstere mit einigen Kristallen des regulären Kieselfluorkalium, letztere mit schmalen ästigen oder spindelähnlichen Formen des Kieselfluorcalciums), die entweder durch die basische Fläche 0P oder viel häufiger durch eine stumpfe Pyramide P geschlossen sind, und deren vertikale Kanten zu-

Fig. 325.



Vergr. 400.

Fig. 326.



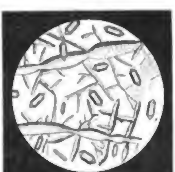
Vergr. 200.

weilen durch ∞P2 abgestumpft sind. Unvollkommen ausgebildete Kriställchen des Kieselfluornatriums haben faßähnliche, ovale oder walzenähnliche Formen. Verdünnte Lösungen geben zierliche sechsstrahlige Rosetten.

Die Gegenwart einer größeren Menge des Kieselfluorcalciums hat auf die Länge der hexagonalen Säulchen des Kieselfluornatriums einen merklichen Einfluß, indem sie sich dabei auffallend verlängern (Fig. 327; darin auch, ähnlich wie in Fig. 326 ästiges und spindelförmiges Kieselfluorcalcium). Kieselfluornatrium ist in Wasser etwa sechsmal löslicher als das entsprechende Kaliumsalz.

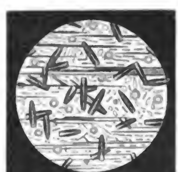
3. Kieselfluorlithium. Winzig kleine, scharfkantige, sechsseitige Pyramiden, die gewöhnlich den Anblick einer regelmäßigen, stumpfen, hexagonalen Pyra-

Fig. 327.



Vergr. 200

Fig. 328.



Vergr. 400.

mide bieten, zuweilen jedoch ein Flächenpaar so stark entwickelt zeigen, daß die übrigen Flächen kaum wahrzunehmen sind. In Wasser sehr leicht löslich.

4. Kieselfluorcalcium. Bildet eigentümliche, lange, spießige, dornenähnliche, ästige, am häufigsten spindelförmige, zuweilen auch tafelförmige, monokline, in Wasser leicht lösliche Kristallgestalten, die oft in sternförmigen und anderen Gruppen vereinigt sind (Fig. 328, zum Teil auch in Fig. 326 u. 327). Ein

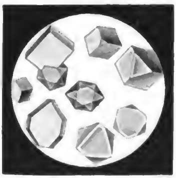
charakteristisches Merkmal dieser mannigfachen Kristallgebilde ist der Mangel an scharfen, geradlinigen Kanten und ebenen Flächen.

5. Kieselfluorstrontium. Scharfkantige und ebenflächige Säulchen und Nadeln, die sich von dem künstlich und rein dargestellten entsprechenden Calciumsalze kaum unterscheiden.

6. Kieselfluorbaryum. Äußerst winzige, schwer zu erkennende, spitze Nädelchen.

7. Kieselfluormagnesium. Erscheint in Rhomboedern, deren Polecken durch die Basis abgestumpft zu sein pflegen oder in Kombinationen von R . ∞P2; R . ∞P2 . 0R und in anderen noch komplizierteren Gestalten (Fig. 329). Alle seine

Fig. 329.



Vergr. 600.

Fig. 330.



Vergr. 400.

Kristallgestalten sind scharfkantig und ebenflächig. Häufig tritt das Magnesiumsalz in Rhomboedern auf, die nach einer Kante verzogen sind, sowie in zapfenförmigen, kreuzförmigen, federähnlichen und anderen Gestalten (Fig. 330), die zuweilen im ganzen Präparate eine und dieselbe regelmäßige Anordnung besitzen und an jedem Ausläufer mit einem unvollkommen ausgebildeten Rhomboeder zu endigen pflegen.

8. Kieselfluoreisen und

9. Kieselfluormangan sind in ihren Kristallformen von dem Magnesiumsalze nicht zu unterscheiden. Da man für Mangan auch in den geringsten Mengen die so außerordentlich scharfe Reaktion der Färbung der Soda- und Phosphorsalzschmelze auf dem Platinbleche hat (vgl. S. 641), so wird man höchstens das Magnesium- vom Eisen-Siliciumfluorid zu unterscheiden brauchen. Zu diesem Zwecke setzt man das Objektglas auf ein niedriges Gestell in einem Apparat, in welchem man aus einem Gemenge von Braunstein und Salzsäure Chlorgas entwickelt, und setzt die Salze $1^1/_2$—2 Minuten der Einwirkung des Chlorgases aus. Dann hebt man das Objektglas heraus, trocknet es sorgfältig, bedeckt die Salze zum Schutze der Linsen am Mikroskop mit einem Deckgläschen, oder auch das Objektiv, wie S. 700 angegeben, mit einem Glimmer- oder Glasplättchen und beobachtet nun unter dem Mikroskop die neu entstandenen Färbungen der Salze. Unter der Einwirkung des Chlorgases hat das Eisensalz, ohne seine Form im wesentlichen zu ändern, eine zitronengelbe Farbe angenommen, während das Magnesiumsalz, gleichfalls ohne nennenswerte Formveränderung, farblos geblieben ist. Das gleichfalls farblose oder schwach rötliche Mangansalz dagegen hat eine Umwandlung in kleine Täfelchen und Körnchen erlitten und erscheint wie zerflossen.

Eine andere Methode, diese drei Salze zu unterscheiden, beruht auf der Anwendung von Schwefelammonium. Wenn man die Salze an die Öffnung einer mit gutem

Schwefelammonium gefüllten Flasche hält, so färbt sich das Eisensalz ziemlich rasch schwarzgrau und erhält einen eigentümlichen metallischen Bronzeschimmer, während das Mangansalz rötlich oder bräunlichweiß und das Magnesiumsalz graulichweiß erscheint.

Zwei andere ihrer Kristallgestalt nach schwer oder nicht unterscheidbare Salze sind das Kieselfluorcalcium und das Kieselfluorstrontium; zu ihrer Trennung bringt man einen Tropfen verdünnter, chemisch reiner Schwefelsäure auf das fragliche Salz; die Kriställchen des Strontiumsalzes lösen sich darin nur sehr langsam in Körnchen und kurze Nädelchen auf, während das Calciumsalz schon nach wenigen Sekunden von einem dichten Barte farbloser, monokliner Gipskriställchen (vgl. S. 711) umsäumt wird.

Die Natriumsalzkriställchen verändern sich bei gleicher Behandlung, wenn sie rein sind, fast gar nicht; sind sie aber aus kalkreichen Lösungen auskristallisiert, so zersetzen sie sich sehr schnell unter Bildung von Gipskriställchen.

Fig. 331.



Fig. 332.

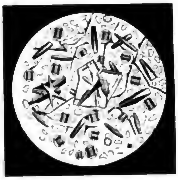


Fig. 331. Oligoklas von Ytterby; zahlreiche, winzig kleine, sechsseitige Täfelchen des Kieselfluornatriums, drei spindelähnliche Gestalten des Kieselfluorcalciums. Vergr. 400.

Fig. 332. Labradorit (nahe einem kalkreichen Andesin) von Ojamo in Finnland; kurze, hexagonale, von einer Luftblase umschlossene Säulchen des Kieselfluornatriums; spindelförmige, tafelförmig rhomboidale und dornenähnliche Gebilde des Kieselfluorcalciums. Vergr. 400.

Fig. 333.



Fig. 334.



Fig. 333. Labradorit aus dem Gabbro von Volpersdorf; dieselben Kristallgestalten, wie in Figur 332, nur sind die spindelförmigen Gebilde des Kieselfluorcalciums weit zahlreicher, entsprechend der Zusammensetzung des Plagioklases, der hier einem Bytownit näher steht. Vergr. 400.

Fig. 334. Anorthit von Korsika; wie bei den vorigen Figuren; die Kristalle des Natriumsalzes sind am spärlichsten, die des Calciumsalzes weitaus überwiegend. Vergr. 400.

Wieweit man nach der Bořickyschen Methode auch die relativen Mengen der einzelnen Bestandteile zu beurteilen vermag, mögen die obigen vier, Bořicky entlehnten Bilder (Fig. 331—334) zeigen, welche die von vier nach seiner Methode behandelten Feldspatdünnschliffen herrührenden Fluorsiliciumsalze zeigen.

Kapitel 83.

Spezielle chemische Untersuchungen an Dünnschliffen.

1. Über die Isolierung kleiner Partien aus Dünnschliffen.

Wenn nur ein Mineral einer bestimmten Stelle eines Dünnschliffs untersucht werden soll, so entfernt man zunächst das Deckgläschen oder nur einen Teil desselben, den man mit dem Schneidediamanten von dem übrigen Teile abgetrennt hat. Der leicht schmelzbare Kanadabalsam wird in Xylol oder Benzol gelöst, und der Schliff mit ausgekochtem, hartem Balsam bedeckt. Man läßt diesen hart werden und stellt dann unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung das zu untersuchende Mineral in die Mitte des Gesichtsfeldes ein. Darauf schiebt man das durchbohrte (siehe S. 702), sorgfältig gereinigte Deckgläschen so unter das Mikroskop, daß die trichterförmige Öffnung sich oben befindet[1]), die Unterseite des Deckgläschens aber den harten Kanadabalsam des Schliffes berührt; dann schiebt man dasselbe so lange hin und her, bis die Öffnung sich genau über dem zu untersuchenden Minerale befindet und legt darauf den Dünnschliff vorsichtig so lange auf die durch Wasserdampf erhitzte Glastafel (vgl. S. 703), bis geschmolzener Kanadabalsam aus der Öffnung des Deckgläschens herausquillt. Darauf läßt man erkalten und wäscht den die Öffnung füllenden Kanadabalsam mit einem Haarpinsel, der in Alkohol oder Benzol getränkt ist, sorgfältig heraus, indem man von Zeit zu Zeit mit reinem Löschpapier die Lösung von dem Deckgläschen wegnimmt und teils unter der Lupe, teils unter dem Mikroskop beobachtet, ob das zu untersuchende Material frei liegt oder nicht. Ist ersteres der Fall, dann ist es nach den Seiten von Kanadabalsam umschlossen, und ein auf die Öffnung des Deckgläschens gebrachter Tropfen eines Lösungsmittels kann jetzt nur noch auf das zu untersuchende Mineral wirken. — Will man mit Flußsäure ätzen, so nimmt man statt des durchbohrten Deckglases ein durchbohrtes Platinblech.

Die Arbeit wird sehr vereinfacht, wenn man zu etwa vorzunehmenden näheren Untersuchungen sich Dünnschliffe verschafft, die nicht mit einem Deckglase versehen sind. Man trägt dann Kanadabalsam oder Lack nur auf die Stellen, die von dem Lösungsmittel nicht angegriffen werden sollen. Die zu ätzenden Stellen trennt man von den zu schützenden Stellen durch einen dickeren Lack- oder Balsamring, über den sich das Lösungsmittel nicht ausdehnen kann.

Die Anwendung heißer Salzsäure oder Schwefelsäure erfordert völliges Fortschaffen des Kanadabalsams auf der Ober- und Unterseite des Schliffes.

---

[1]) Vgl. Streng, Neues Jahrb. f. Min. 1885, I. 26—28.

Die erhaltene Lösung kann dann zu mikrochemischen Versuchen nach den Angaben des vorhergehenden Kapitels benutzt werden.

In vielen Fällen wird man aber besondere Wege einschlagen, von denen etliche im folgenden angegeben seien.

2. Behandlung mit Säuren, besonders mit Salzsäure.

a) *Aufhellung der Präparate.*

Einzelne, den Schliff undurchsichtig machende oder ihn trübende Massen kann man in vielen Fällen durch Behandlung mit warmer, verdünnter Salzsäure entfernen. Vor allem kommt dies in Frage bei Färbungen durch Eisenoxyd oder Eisenhydroxyd oder durch chloritische oder auch durch zeolithartige Zersetzungsprodukte[1]). Man muß dabei aber wohl darauf achten, daß ein mehr oder weniger großer Teil der ungefärbten Substanzen ebenfalls gelöst oder wenigstens angegriffen wird.

b) *Prüfung auf durch Säuren zersetzbare oder in solchen leicht lösliche Verbindungen.*

Will man einen Dünnschliff mit Säuren auf darin lösliche oder leicht zersetzbare Mineralien prüfen, so kann dies bei Anwendung von kalter Salzsäure direkt auf dem vom Deckgläschen befreiten Dünnschliffe ausgeführt werden; ist es notwendig, auf dem Wasserbade zu erhitzen, so muß das Präparat vom Objektträger abgehoben und gereinigt werden, da sonst der Balsam aufquillt, das Präparat zerstört oder auch über die zu untersuchenden Stellen herüberquillt und diese gegen die Einwirkung des Lösungsmittels schützt. Die Reinigung geschieht am besten erst mit Alkohol, dann mit Benzol oder Xylol.

Übrigens darf man aus der Unangreifbarkeit eines Dünnschliffminerals Säuren gegenüber nicht auf dessen chemisches Verhalten im allgemeinen schließen, da viele solcher Mineralien, besonders Feldspäte, in Pulverform sehr bedeutend angegriffen werden. Ein Kontrollversuch ist in dieser Hinsicht also notwendig.

Die Verteilung der Karbonate in Dünnschliffen wird durch die Entwicklung von Gasblasen sichtbar. Diese kann, wenn die Karbonate nicht gerade in ganz kleinen Mengen vorhanden sind, schon leicht mit bloßem Auge oder unter dem Mikroskope beobachtet werden. Geringe Mengen macht man dadurch sichtbar, daß man das von Kanadabalsam be-

[1]) Vgl. auch E. W. Benecke und E. Cohen, Geognostische Beschreibung der Umgegend von Heidelberg, I. Straßburg 1879. S. 96.

freite Präparat mit einem Tropfen Wasser und einem Deckgläschen überdeckt und dann seitwärts des Deckglases einen Tropfen Säure so zufügt, daß er allmählich in die Flüssigkeit über dem Präparate unter dem Deckglase diffundiert. Die Einwirkung der Säure schreitet dann unter dem Deckglase langsam fort und kann an den feinen in dem Wasser schwebenden Bläschen unter dem Mikroskope beobachtet werden. — Will man dafür Sorge tragen, daß die Bläschen sich nicht bewegen, sondern längere Zeit am Ort ihres Entstehens verbleiben und beobachtet werden können, so nimmt man an Stelle des Wassers einen Tropfen einer weniger leicht beweglichen Flüssigkeit. Eine zähflüssige Lösung von Gelatine in Glyzerin ist hierfür am geeignetsten. — Wenn die Entwicklung von Kohlensäurebläschen während des Erwärmens beobachtet werden soll, so benutzt man einen Erhitzungsapparat am Mikroskop. Es genügt auch eine durchbohrte Kupferplatte, die mit Fortsätzen über den Objekttisch herüberragt, welche dann mit einer Flamme erwärmt werden.

Gelatinieren. Manche Silikate sind in Salzsäure unter Zurücklassen einer Gallerte von Kieselsäure löslich. Diese zeigt sich am besten, wenn man mit einer dünnen Haut von Salzsäure nur den oberen Teil des Schliffes anätzt, damit sich nicht zu viel Gallerte bildet, die leicht den ganzen Schliff überzieht. Am besten ist zunächst eine ganz schwache Einwirkung, die man nötigenfalls wiederholt. Die Säure wird gut, aber vorsichtig abgespült, so daß die Gallerte an der Entstehungsstelle zurückbleibt. Eine dünne Farblösung (Fuchsin in Wasser) wird dann auf den Schliff gebracht und färbt die Stellen, an denen die Gallerte sich befindet. Die übrige Farblösung muß entfernt werden, worauf man das Präparat beobachten kann.

Will man das gelatinierende Silikat entfernen, so behandelt man mit mehr Säure und spült die Gallerte durch einen kräftigen Wasserstrahl ab.

Über die Untersuchung auf Nephelin[1]) siehe:

A. Streng, Über die mikroskopische Unterscheidung von Nephelin und Apatit. Tscherm. min. Mitt. 1876. S. 167—170.

Über Färbung mit Fuchsinlösung nach der Ätzung[2]) siehe:

Cohen, Sammlung von Mikrophotographien, Tafel XLIX. S. 3—4.

R. Bréon, Sur l'association cristallographique des feldspaths tricliniques. Comptes rendus. 1886. CIII. S. 170—172.

---

[1]) Diese Methode ist natürlich nur mit Vorsicht anzuwenden, um Verwechslungen mit anderen natronreichen, durch Salzsäure zersetzbaren Silikaten zu vermeiden. (Vgl. H. Bücking, Basaltische Gesteine aus der Gegend westlich vom Thüringer Wald und aus der Rhön. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. f. 1880. S. 156.)

[2]) Färbung mit Fuchsinlösung ist besonders notwendig, wenn die zu prüfende Substanz isotrop ist, und zur Entscheidung, ob gelatinöse oder pulverige Kieselsäure sich bei der Zersetzung eines Silikates ausscheidet. Empfehlenswert ist die Methode übrigens in allen Fällen, um einen besseren Überblick über die Menge der angegriffenen Teile zu erhalten.

A. Pelikan, Ein neues Cordieritgestein vom Mte. Doja in der Adamellogruppe. Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1891. XII. S. 158—159.
H. Behrens, Mikrochem. Analyse, 2. Aufl. 1899. S. 171 u. f.

Zur Unterscheidung von Quarz und Feldspat in Dünnschliffen mittels Färbung teilt Becke[1]) folgendes mit:

In den kristallinischen Schiefergesteinen ist die Unterscheidung von Quarz und Feldspat dann ziemlich schwierig, wenn die Individuen unter eine gewisse Größe herabsinken. Auch bei gröber gemengten Gesteinen ist es bei Anwendung der ausgebildeten optischen Methoden leichter, das Vorhandensein von Quarz und Feldspat überhaupt zu erweisen, als ein Bild von den Mengenverhältnissen und der Verteilung dieser Minerale zu gewinnen. In beiden Fällen wende ich eine Methode an, welche schöne Resultate liefert und sehr leicht ausführbar ist. Die gereinigte Schliffläche wird mit Flußsäure durch einige Sekunden geätzt, hierbei wird Quarz einfach gelöst, Feldspat unter Abscheidung von amorphem Kieselfluoraluminium[2]) oberflächlich zersetzt. Die Säure wird vorsichtig abgespült und die Schliffläche mit einem Tropfen von Anilinfarbstofflösung benetzt. Nach längerer Einwirkung wird diese vorsichtig abgespült. Nun erscheinen die Feldspäte mit Farbe imbibiert, der Quarz farblos. Wird die Einwirkung der Flußsäure rechtzeitig unterbrochen, so kann man es dahin bringen, daß bloß der Feldspat gefärbt wird. Läßt man länger einwirken, so färben sich auch Glimmer, Chlorit und andere Silikate. Vorsicht ist beim Abspülen der Säure zu gebrauchen, damit die Zersetzungsprodukte von der Oberfläche der Feldspäte nicht weggeschwemmt werden.

Es gelingt durch entsprechende Abstufung der Ätzung leicht, auch die verschiedenen Feldspatarten zu unterscheiden[3]). Orthoklas nimmt die Färbung viel schwieriger an als Plagioklas; unter letzterem sind die kalkreichen leichter färbbar als die natronreichen. So gelingt es, Schliffe, welche Orthoklas, sauren Plagioklas und Quarz enthalten, derart zu ätzen, daß der Plagioklas intensiv gefärbt wird, Orthoklas eben nur die Ätzung erkennen läßt, während der Quarz vollkommen unverändert erscheint. In basischen Gesteinen gelang es, die kalkreichen Kerne der Plagioklase zu färben, während die natronreiche Hülle unverändert blieb. Für die Abstufung der Ätzung lassen sich bestimmte Regeln nicht geben, da die Kon-

[1]) Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1888. X. S. 90 u. 1891. XII. S. 257. Vgl. auch Pelikan, ebenda 1892. XII. S. 158 und T. Harada, Neues Jahrb. f. Min. 1883. Beil.-Bd. II. S. 14. Anm.

[2]) Alle Tonerdesilikate bilden bei der Behandlung mit Flußsäure amorphes Kieselfluoraluminium.

[3]) Becke, wie in Anm. [1]), außerdem Pelikan, Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1892. XII. 158. — Abbildung geätzter Schliffe in Berwerth, Mikroskop. Strukturbilder der Massengesteine. Stuttgart 1900.

zentration der käuflichen Flußsäure stark variiert. Durch Verdünnen der konzentrierten Säure und durch Abänderung der Dauer muß die Ätzung jedem besonderen Falle angepaßt werden. Orthoklas färbt sich nur bei Anwendung konzentrierter Säure gut. — Becke verfährt auch folgendermaßen: Auf die gereinigte Schlifffläche wird ein Tropfen der Säure gebracht, den man ½—1 Minute einwirken läßt. Mit Fließpapier wird vom Rande her ohne Berührung des Schliffes der Tropfen abgehoben und die dünne zurückbleibende Flüssigkeitsschicht unter Daraufblasen auf dem Wasserbade rasch verdampft. Dann kommt ein Tropfen Farblösung darauf, die über den Rand des Schliffes hinausgreifen soll. Nach 5—10 Minuten wird er mit einer Pipette abgesaugt und der Schliff durch vorsichtiges Auftropfen von Wasser abgespült (man vermeide stürmische Bewegung der Flüssigkeit). Die Farbhaut wird durch absoluten Alkohol entwässert, der Schliff sodann einige Minuten in Benzol gelegt, dann mit einem Tropfen Lavendelöl benetzt, schließlich mit in Äther gelöstem Balsam gedeckt. Diese Einschließmethode verhindert das Scholligwerden der Farbschicht.

Opal läßt sich von anderen mit ihm auftretenden Silikaten durch Behandlung mit Fuchsin ohne vorherige Ätzung unterscheiden[1]).

Die Unterscheidung kalkfreier, kalkarmer und kalkreicher Glieder der Hauyngruppe ist nach A. Sauer[2]) dadurch möglich, daß man die mit Salzsäure behandelten Mineralien auf das spärliche oder reichliche Auftreten von Gipsnadeln in der Gallerte prüft. (Prüfung auf Hauyn bezw. Sodalith siehe auch S. 726.)

Unterscheidung von chloritischen Substanzen und Hornblende (besonders Uralit):

E. Cohen, Erläuternde Bemerkungen zu der Routenkarte einer Reise von Lydenburg nach der Delagoabai im östlichen Südafrika. Hamb. Geogr. Ges. 1875. II. S. 196. — Über einige Vogesengesteine. Neues Jahrb. f. Min. 1883. I. S. 199.

Über die Unterscheidung von blauem Flußspat und blauen Varietäten der Hauyngruppe siehe:

O. Lang, Über Flußspat im Granit von Drammen. Nachr. d. Gött. Ges. d. Wissensch. 1880. Nr. 15. S. 484—485.

c) *Unterscheidung von Magnetit und Titaneisen*[3]).

E. Cohen, Erläuternde Bemerkungen zu der Routenkarte einer Reise von Lydenburg nach etc. Hamb. Geogr. Ges. 1875. II. S. 225. Anm.; S.-A. S. 55.

H. Bücking, Über Augitandesit und Plagioklasbasalt. Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1878. I. S. 547 ff.

[1]) Tannhäuser, Die jüngeren Gesteine der ecuatorianischen Ostcordillere. Inaug.-Dissert. Berlin 1904. S. 8.

[2]) A. Sauer, Untersuchungen über phonolithische Gesteine der Kanarischen Inseln. Zeitschr. f. d. ges. Naturw. 1876. XIII. S. 322.

[3]) Zuweilen erhält man bei der Behandlung magnetithaltiger Dünnschliffe mit Salzsäure deutliche Ätzfiguren, indem kleine Felder vollständig gelöst werden, und ein

d) Die Erzeugung von Ätzfiguren.

an Dünnschliffen wird in den meisten Fällen nicht zu günstigen Resultaten führen, falls man nicht genau orientierte Dünnschliffe, isolierte Kristalle oder Spaltungsstücke vor sich hat. Sie kann besonders empfohlen werden, wenn es sich um die Unterscheidung amorpher Substanzen von kristallisierten, namentlich regulären, handelt. Diese erhalten regelmäßig begrenzte, erstere aber unregelmäßig begrenzte Ätzfiguren. — Man vergleiche noch:

A. Knop, Über die Bedeutung der für Diamant gehaltenen Einschlüsse im Xanthophyllit der Schischimskischen Berge des Urals. Neues Jahrb. f. Min. 1872. S. 785—794.

E. Bořický, Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Arch. d. Landesdurchf. Böhmens. 1877. III. Abt. 5. S. 41—48.

G. Greim, Über Ätzfiguren an Diopsid und Spodumen. N. Jahrb. f. Min. 1889. I. S. 252—254.

E. A. Wülfing, Beiträge zur Kenntnis der Pyroxenfamilie. Heidelberg 1891.

O. Mügge, Über den Kristallbau der pyrogenen Quarze. N. Jahrb. f. Min. 1892. I. S. 2.

H. Baumhauer, Die Resultate der Ätzmethode in der kristallographischen Forschung. Leipzig 1894.

R. A. Daly, A comparative study of etch-figures. — The Amphibols and Pyroxens. Proc. Am. Acad. Arts and Sciences. **33**. 1899. 373—429. — On a new variety of Hornblende. Ibid. 433—437. — Bull. de la soc. franç. de min. **22**. 1899. 133—144, 145—148.

e) Untersuchung opaker Substanzen auf Homogenität.

Polierte Schliffe opaker Substanzen, welche weder kristallisiert, noch spaltbar vorliegen, also der deutlichen Individualisierung entbehren und anderseits in den Analysen erhebliche Schwankungen aufweisen, können etwaige fremde Einlagerungen schon an und für sich bei Betrachtung mit der Lupe erkennen lassen; außerdem aber läßt sich, ähnlich wie bei dem Meteoreisen, auch der Versuch anstellen, ob solche Interpositionen sich gegen Salpeter- und andere Säuren anders als die Grundmasse verhalten[1]).

f) Untersuchung der Struktur von Meteoreisen und anderen Metallen.

Um die Struktur von Eisenmeteoriten[2]) und Metallen zu prüfen, gibt es zwei Wege: Man stellt sich eine Platte mit parallelen Flächen her, erhitzt sie kräftig auf einer starken Asbestplatte und beobachtet die durch Anlauffarben sich zeigenden Oxydationserscheinungen. Homogene Metalle zeigen gleiche, verschiedene oder legierte wechselnde Anlauffarben.

---

aus dünnen Leisten bestehendes Netz übrig bleibt. Die Formen solcher Ätzfiguren können ebenfalls zur Unterscheidung von Magnetit und Titaneisen dienen.

1) H. Fischer, Zeitschr. f. Kristallogr. 1880. Bd. 4, S. 363.

2) Cohen, Meteoritenkunde. Stuttgart 1894; außerdem: H. Behrens, Das mikroskopische Gefüge der Metalle und Legierungen. Hamburg 1894. S. 11—16. Vgl. auch die auf S. 670 angegebene Literatur.

Nach der zweiten Methode ätzt man die vorher polierte Fläche und zwar gewöhnlich mit verdünnter Salpetersäure. Man verfährt am besten so, daß man zunächst mit stark verdünnter Säure beginnt und, wenn diese nicht hinreichend kräftig einwirkt, die Konzentration allmählich steigert. Entweder wird die Säure auf die vorher gut entfettete Platte aufgegossen oder mit einem breiten Pinsel möglichst schnell und gleichmäßig unter Neigung der Platte zum Abfließen des Überschusses aufgestrichen. Stets spült man schnell mit Wasser nach und untersucht von Zeit zu Zeit die angeätzte Fläche eingehender mit der Lupe oder im auffallenden Lichte unter dem Mikroskope. Dies ist auch nötig, um Details zu sehen, die bei schwacher Ätzung hervortreten, bei stärkerer aber wieder verschwinden.

Außer Salpetersäure sind zum Ätzen von Meteoriten noch andere Agentien vorgeschlagen (Kupfervitriol, Quecksilberchlorid, Gold- und Platinchlorid, schmelzende Alkalien, Bromwasser u. a.), worüber, sowie über andere auf Meteoriten bezügliche Untersuchungsmethoden, in Cohens Meteoritenkunde näheres zu finden ist.

3. Behandlung mit verdünnter Säure und Bleinitrat, Bleiacetat oder Silbernitrat zum Nachweis des Sodaliths[1]),

gleichzeitig zur Unterscheidung von Sodalith und Analcim. Man behandelt den Schliff des betreffenden Minerals mit einem Tropfen ganz verdünnter (völlig chlorfreier!) Salpetersäure oder Essigsäure, die beide ein Gelatinieren bewirken. Man fügt einen Tropfen verdünnter Lösung von salpetersaurem Blei hinzu. Die Gallerte zeigt dann unter dem Mikroskope lange flache Nadeln von Chlorblei, wenn Chlor zugegen war.

4. Behandlung mit verdünnter Essigsäure und Chlorbaryum zur Unterscheidung von Sodalith und Nosean.

A. Osann, Über ein Mineral der Nosean-Hauyngruppe im Eläolithsyenit von Montreal. Neues Jahrb. f. Min. 1892. I. S. 224.

5. Prüfung auf phosphorsäurehaltige, durch Säure zersetzbare Mineralien, besonders auf Apatit, mit einer salpetersauren Lösung von molybdänsaurem Ammoniak.

Die Reaktion auf Phosphorsäure direkt am Dünnschliff (vgl. auch S. 714) läßt sich am einfachsten derart ausführen, daß man die verdünnte Salpetersäure nach genügender

[1]) F. F. Graeff, Mineralogisch-petrographische Untersuchung von Eläolithsyeniten von der Serra de Tinguá, Prov. Rio de Janeiro, Brasilien. Neues Jahrb. f. Min. 1887. II. S. 230—231. — G. Freda, Sulle masse trachitiche rinvenute nei recenti trafori delle colline di Napoli. Rendiconti della Acad. di Napoli. 1889. (2) III. S. 39. — Änderungen der Methode siehe: J. Lemberg, Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1890. Bd. 42. S. 738; 1892. Bd. 44. S. 224.

Einwirkung auf das Präparat mit einem Haarröhrchen absaugt, auf einem anderen Objektträger zur Trockne verdampft, mit verdünnter Salpetersäure aufnimmt und nun erst die Lösung von molybdänsaurem Ammoniak hinzufügt. — Will man die Reaktion auf dem Dünnschliffe lokalisieren, so muß man mit einer dünnen Flüssigkeitsschicht arbeiten. Das Reagens muß möglichst hohen Gehalt an Molybdat und Salpetersäure besitzen, um ohne Wärme genügend starke Reaktion zu erzielen. Erwärmen kann die Lokalisation beeinträchtigen und Nebenreaktionen hervorrufen.

A. Streng, Über die mikroskopische Unterscheidung von Nephelin und Apatit. Tscherm. min. Mitt. 1876. S. 168—169. — Über einige mikroskopisch-chemische Reaktionen. Neues Jahrb. f. Min. 1885. I. S. 29—33.

A. Stelzner, Über Melilith und Melilithbasalte. N. Jahrb. 1883. Beil.-Bd. II. S. 382.

A. Sauer, Die Krakatoaaschen des Jahres 1883. Ber. d. naturw. Ges. zu Leipzig. 1883. S. 90.

H. Behrens, Mikrochem. Analyse, 2. Aufl. 1899. S. 115.

6. Behandlung mit Reagentien zur Erzeugung leicht kenntlicher Niederschläge auf dem zu prüfenden Blättchen.

Zu vergleichen die Angaben in Kap. 82, S. 709—719.

J. Lemberg, Zur mikrochemischen Untersuchung einiger Minerale. Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1890. XLII. S. 737—752 (Sodalith, Hauyn, Skapolith, Zeolithe, Karbonate, Pyromorphit) u. 1892. XLIV. S. 224—242. — Zum mikrochemischen Nachweis des Eisens. Ebenda 1892. XLIV. S. 823—824. — Zur mikrochemischen Untersuchung einiger Minerale aus der Gruppe der Lamprite (Kiese, Glanze, Blenden). Ebenda 1894. XLVI. S. 788—799.

7. Glühen der Präparate.

Zu dieser Prüfung müssen die Präparate gut von anhaftendem Kanadabalsam befreit werden. Das Glühen erfolgt auf Platinblech oder auf einer Platte von geschmolzenem Quarze[1]). Letztere sind vorzuziehen, da die weitere Beobachtung des Präparates auf der Platte selbst erfolgen kann.

a) *Zur Prüfung auf wasserhaltige Mineralien*[2]).

Zeolithe, Bruzit, Hydromagnesit und Cancrinit[3]) werden schon bei wenig starkem Erhitzen trübe. Änderungen des optischen Verhaltens sind

---

[1]) In Größe eines Objektglases zum Preise von Mk. 10.— von Heraeus in Hanau zu beziehen.

[2]) J. Lemberg, Über die Kontaktbildungen bei Predazzo. Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1872. XXIV. S. 227—228. — L. van Werveke, Mineralogisch-petrographische Mitteilungen. Neues Jahrb. f. Min. 1880. II. S. 270. — E. Weinschenk, Gesteinsbildende Mineralien. 2. Aufl. Freiburg i. Br. 1907. S. 39.

[3]) Zur Unterscheidung von Nephelin und Cancrinit vgl. E. Cohen, Neues Jahrb. 1883. II. Referate S. 371. — E. Kaiser, Sitz.-ber. d. niederrhein. Ges. f. Nat.- u. Heilkde. Bonn 1898. 105—106. Zeitschr. f. Krist. 1899. Bd. 31. S. 30—31.

damit verbunden. Behandelt man den geglühten Schliff mit Silbernitrat, so überziehen sich Bruzit und Hydromagnesit mit einer dunkelbraunen Schicht von Silberhydroxyd[1]). Chlorit und Serpentin werden bei sehr energischem Glühen getrübt, aber durch Oxydation des Eisengehaltes schon früher braun und bei höherer Temperatur schwarz.

b) Zur Bestimmung und Entfernung kohliger Substanzen und zur Unterscheidung derselben von opaken Erzen.

Man verfährt am zweckmäßigsten derart, daß man das vom Objektträger abgeschobene und vom Kanadabalsam vollständig gereinigte Blättchen erst mit Salzsäure bezw. Salpetersäure digeriert, dann glüht und schließlich noch einmal mit Salzsäure digeriert. Nur auf diese Weise kann man die relativen Mengen von Eisen und organischen Partikeln richtig abschätzen oder für eine genaue Untersuchung hinreichend klare Präparate erzielen, da die kohligen Substanzen nach dem Glühen meist Häutchen von Eisenoxyd hinterlassen. Die in Schiefern dann noch übrig bleibenden undurchsichtigen Körner und Kriställchen mit matter Oberfläche bestehen, wie es scheint, aus etwas verändertem Eisenkies. Bei der Prüfung auf Graphit ist zuweilen ein sehr starkes und anhaltendes Glühen vor dem Gebläse notwendig, und bei negativem Resultat sollte stets noch ein Glühversuch mit dem Pulver ausgeführt werden, da Graphit bekanntlich selbst im Sauerstoffstrom oft außerordentlich schwer verbrennt[2]).

c) Zur Untersuchung pleochroitischer Höfe und des Pleochroismus.

Die pleochroitischen Höfe einiger Mineralien, wie von Cordierit, farblosem Andalusit u. a., lassen sich durch anhaltendes Glühen des Präparates entfernen[3]).

---

[1]) Lemberg, Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1872. Bd. 24. S. 226 f.

[2]) Vgl. E. W. Benecke und E. Cohen, Geognostische Beschreibung der Umgegend von Heidelberg. I. S. 30—31. Straßburg 1879. — A. Osann, Mitt. d. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt. 1891. II. S. 376.

[3]) H. Rosenbusch, Die Steiger Schiefer und ihre Kontaktzone an den Graniten von Barr-Andlau und Hohwald. Abh. d. Geol. Landesanstalt f. Els.-Lothr. I. 2. 1877. S. 221—222. — A. Michel-Lévy, Sur les noyaux à polychroisme intense du mica noir. Comptes rendus. 1882. XCIV. Nr. 17. S. 1196—1198; Bull. Soc. Min. 1882. V. S. 133—136. — Propriétés optiques des auréoles polychroïques. Comptes rendus. 1890. CIX. Nr. 26. S. 973—976. — H. Gylling, Några ord om Rutil och Zirkon med särskild hänsyn till deras sammanväxning med Glimmer. Geol. Fören. Förh. 1882. VI. S. 167. — H. Wulf, Beitrag zur Petrographie des Hererolandes in Südwestafrika. Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1887. VIII. S. 206—208. — E. Cohen, Über pleochroitische Höfe im Biotit. Neues Jahrb. 1888. I. S. 165—169. — A. Osann,

Manche Mineralien, die keinen oder nur schwachen Pleochroismus zeigen, wie z. B. Olivin, Bronzit, Cordierit, werden durch Glühen pleochroitisch[1]). B o ř i c k y setzte den Dünnschliff auf einem Platinblech 1 1/2—3 Minuten einer starken Rotglut aus. S a l o m o n[2]) erhielt die besten Resultate bei schwachem, aber lange anhaltendem Glühen. Bei starkem Glühen verschwand der Pleochroismus wieder, es zeigte sich aber dann eine andere Erscheinung, die zur Unterscheidung des Cordierits von Quarz und Feldspat benutzt werden konnte. Während nämlich diese beiden Mineralien klar und frisch bleiben, bräunt sich der Cordierit in ganz eigentümlicher Weise. Die Bräunung ist zwar nur schwach, aber vollkommen ausreichend, um die Unterscheidung mit Sicherheit vornehmen zu können. Der Cordierit erscheint nach dem Glühen wie mit einem feinen braunen Pulver überstreut, während seine zersetzten Stellen sich durch Ausscheidung ihres Eisengehaltes dunkelbraun färben. C o h e n[3]) bemerkt dazu, daß die Cordierite verschiedener Fundorte sich in dieser Hinsicht verschieden verhalten und daß das Nichteintreten einer bräunlichen Färbung daher nicht als Beweis gegen die Cordieritnatur des betreffenden Minerals betrachtet werden darf. C o r n u[4]) erzielte Pleochroismus im Steinsalz und Sylvin durch Druck.

d) Zur Erzeugung von Spaltrissen.

E. C o h e n, Über einen Eklogit, welcher als Einschluß in den Diamantgruben von Jagersfontein (Oranje-Freistaat, Südafrika) vorkommt. Neues Jahrb. 1879. S. 866.

e) Zur Unterscheidung eisenreicher Mineralien von eisenarmen oder eisenfreien.

Das Glühen der Präparate kann auch zu dem Zwecke erfolgen, eisenreiche von eisenarmen oder davon freien Mineralien zu unterscheiden. G ü m b e l[5])

Mitt. d. Großh. Bad. Geol. Landesanstalt. 1891. II. S. 377. — E. W e i n s c h e n k, Vergleichende Studien über die dilute Färbung der Mineralien. Zeitschr. f. anorg. Chemie. XII. 1896. S. 375—392.

1) B o ř i c k y, Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. Arch. d. naturw. Landesdurchf. v. Böhmen. Bd. III. Prag 1877. S. 49—51.

2) Geologische und petrographische Studien am Monte Aviólo im italienischen Anteil der Adamellogruppe. Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1890. Bd. 42. S. 516.

3) Zusammenstellung petrographischer Untersuchungsmethoden. Stuttgart 1896. S. 49.

4) Zentralbl. f. Min. 1907. S. 166. Weiteres über künstlichen Pleochroismus durch Färbung siehe W. S u i d a, Über das Verhalten von Teerfarbstoffen gegenüber Stärke, Kieselsäure und Silikaten. Sitzungsber. d. k. k. Akad. d. Wissensch., math.-naturw. Klasse, Bd. 113. Abt. II b. Juli 1904. — C o r n u, Über den Pleochroismus mit basischen Teerfarbstoffen angefärbter Silikate. Tscherm. min. u. petrogr. Mitt. 1906. Bd. 25. S. 453—455.

5) Die paläolithischen Eruptivgesteine des Fichtelgebirges. München 1874. S. 3.

empfiehlt diese Methode zur Unterscheidung kleiner Olivin- und Augitkörner; es ist indessen Vorsicht geboten, da manche Augite sich beim Glühen ebenfalls rotbraun färben. Die Reaktion weist natürlich nur nach, daß eisenoxydulhaltige, leicht oxydierbare Mineralien vorliegen.

C. W. C. Fuchs erzeugte eine totale Rotfärbung des Olivins durch $^3/_4$stündiges Glühen auf dem Gebläse, wobei er vollkommen durchsichtig blieb[1]).

Corstorphine[2]) konnte durch Glühen Hornblende und Augit im Präparate deutlich unterscheidbar machen, da die grüne Hornblende braun und stark absorbierend wurde, während eine solche Umwandlung bei ganz ähnlich aussehenden rhombischen oder monoklinen Augiten sich nicht erzielen ließ. Die Analogie der Erscheinung bei winzigen Mikrolithen ließ den Schluß zu, daß auch diese der Hornblende zuzuzählen sind.

f) Zur Erzeugung der blauen Färbung bei Gliedern der Hauyngruppe, falls sie diese Farbe vorher nicht besaßen[3]).

g) Zur Erkennung des Tridymits

kann man nach Rinne die Eigenschaft, bei mäßiger Erhitzung (auf zirka 135°) isotrop zu werden, verwenden; doch muß man Schnitte senkrecht zur ersten Mittellinie auswählen, da solche, welche senkrecht zur zweiten Mittellinie orientiert sind, nur Spuren von Veränderung wahrnehmen lassen.

8. Glühen mit Kobaltsolution zur Unterscheidung tonerdehaltiger und tonerdefreier Mineralien[4]).

Diese Methode ist wohl stets anzuwenden, wenn es sich um die sichere Unterscheidung von talk- und glimmerartigen Mineralien (Muskovit, Paragonit, Sericit, lichtem Chlorit u. s. w.) handelt. Das von Kanadabalsam vollständig gereinigte Blättchen wird auf einem Platindeckel mit stark verdünnter Kobaltsolution befeuchtet, zur Erhöhung der Temperatur unter Bedeckung mit einem Platintiegel vor dem Gebläse stark geglüht und dann mit verdünnter Salzsäure digeriert. Die gleichen Operationen sind in der Regel mehrfach zu wiederholen, bevor ein gutes Resultat erzielt wird. Das Verfahren ist z. B. zur Unterscheidung des Sericit von ähnlich aussehenden Substanzen (wie etwa Talk) sehr wichtig.

---

1) Neues Jahrb. f. Min. 1896. S. 577.

2) Tscherm. min. Mitt. 1895. Bd. XIV. S. 450.

3) H. Vogelsang, Über die natürlichen Ultramarinverbindungen. Bonn 1874. S. 33.

4) E. Bořicky, Elemente einer neuen chemisch-mikroskopischen Mineral- und Gesteinsanalyse. 1877. III. Abt. 5. S. 52.

9. Glühen und Behandeln mit Schwefelammonium zur Unterscheidung von Calcit und Braunspat[1]).

10. Glühen in Schwefeldampf zur Blaufärbung der Glieder der Hauyngruppe[2]).

Das Glühen erfolgt im Platintiegel, auf dessen Boden etwas Schwefelblume gestreut ist, so daß der Schliff im Tiegel von Schwefeldampf umgeben wird.

11. Nachweis von metallischem Eisen durch Behandlung mit einer Lösung von Kupfervitriol oder wolframsaurem Salz.

Auf der blanken Oberfläche schlägt sich beim Behandeln mit Kupfervitriol sofort eine Schicht von metallischem Kupfer nieder. Ein Tropfen Kleinscher Lösung (vgl. S. 576) färbt sich beim Berühren mit metallischem Eisen durch Reduktion der Wolframsäure tief violblau. Unter dem Mikroskope werden die Eisenpartikelchen von einem blauen Hofe umgeben.

12. Behandlung mit Bromwasser zur Entfernung von Eisen und Schwefeleisen.

J. Bosscha jr., Über den Meteorit von Karang Modjo oder Magetan auf Java. Neues Jahrb. f. Min. 1887. Beil.-Bd. V. S. 130.

13. Unterscheidung von Calcit und magnesiareichen Karbonaten (Dolomit),

wenn bei dieser Unterscheidung das verschiedene Verhalten gegenüber kalter verdünnter Essig- oder Salzsäure (Calcit braust, Dolomit nicht oder nur wenig) nicht mehr ausreicht.

---

1) A. Lagorio, Mikroskopische Analyse ostbaltischer Gebirgsarten. Dorpat 1876. S. 20—21.

2) L. Dressel, Mitteilungen vom Laacher See. Neues Jahrb. 1870. S. 565. — A. Knop, Über eine mikrochemische Reaktion auf die Glieder der Hauynfamilie. Neues Jahrb. 1875. S. 74—76. — F. Leydolt, Über den Meteorstein von Borkut. Schr. d. Wiener Akad. 1856. XX. S. 400. — A. E. Törnebohm, Über die eisenführenden Gesteine von Ovifak und Assuk in Grönland. Vetensk. Akad. Förh. Bihang. Stockholm 1878. V. Nr. 10. S. 7 ff. — A. v. Lasaulx, Reaktion zum Nachweise metallischen Eisens in Schlamm- und Staubmassen. Verh. d. naturh. Ver. f. Rheinl.-Westf. 1882. XXXIX. Sitzungsber. S. 212.

a) Durch Behandeln mit Eisenchloridlösung und Schwefelammonium.

Mehrere Methoden zur Unterscheidung von Calcit und magnesiareichen Karbonaten hat J. Lemberg[1]) angegeben. Aus Eisenoxydsalzlösungen wird in der Kälte das Eisen als Hydroxyd durch Calcit sehr rasch, durch Dolomit dagegen sehr langsam ausgefällt. Als Lösung benutzt man eine HCl-freie Auflösung von 1 Teil kristallisiertem Eisenchlorid ($Fe_2Cl_6 + 12\,H_2O$) in 10 Teilen Wasser; etwa abgeschiedenes basisches Salz wird durch Filtration entfernt. Läßt man diese Lösung auf grob gepulverten Calcit einige Sekunden einwirken, gießt die Lösung ab und wäscht durch Dekantieren aus, so trägt jedes Korn einen hellbraunen Überzug von Eisenhydroxyd, der sich beim Übergießen einer Schwefelammonlösung infolge Umwandlung in FeS tiefschwarz färbt. Dolomit dagegen erscheint nach Behandeln mit Eisenchlorid unverändert, da das entstandene Eisenhydroxydhäutchen zu dünn ist, als daß es wahrgenommen werden könnte. Durch Behandeln mit Schwefelammonium dagegen färben sich die Dolomitkörnchen und erscheinen im auffallenden Lichte blaßgrün. In einem Gemenge von Calcit und Dolomit kann man nach dieser Methode beide Mineralien trefflich unterscheiden.

Wenn man das Eisen mit Schwefelammonium als Schwefeleisen ausgefällt hat, so oxydiert es sich sehr leicht, so daß es unmöglich ist, Dauerpräparate anzufertigen. Letzteres gelingt, wenn man das FeS in Preußischblau überführt, was in folgender Weise geschieht: Nachdem das überschüssige Schwefelammon, welches zur Herstellung des FeS verwendet wurde, mit Wasser abgespült ist, gibt man eine konzentrierte wäßrige Lösung von Ferricyankalium hinzu; die Umsetzung des FeS zu Preußischblau beginnt sofort und ist nach etwa 8 Minuten beendet, doch ist es gut, wenn man die Ferricyankaliumlösung einmal erneuert, etwa nach Verlauf der ersten halben Minute. Das Abspülen des überschüssigen $(NH_4)_2S$, sowie das Zugeben der Ferricyankaliumlösung muß so rasch als möglich erfolgen, weil das FeS sich sehr geschwind oxydiert. Die mit Preußischblau bedeckten Stellen sind nicht gleichmäßig gefärbt, hell- und dunkelblaue Stellen wechseln ab, auch schwindet der Farbstoff beim Trocknen, so daß kleine farblose Stellen die blaugefärbten durchsetzen. Bei sehr feinem Korn des Gesteins versagt die Methode.

---

[1]) Z. d. D. Geol. Ges. 1887. Bd. 39. S. 489. 1892. Bd. 44. S. 823. — Vgl. Hinden, Verh. d. naturforsch. Gesellsch. in Basel. 1903. XV. Heft 2. — Thugutt, Zentralbl. f. Min. 1905. S. 265—266. — Vesterberg, Bull. of the Geol. Inst. of Upsala. Upsala 1902. — F. W. Pfaff, Über Dolomit und seine Entstehung. Neues Jahrb. f. Min. 1907. Beil.-Bd. 23. S. 529—580

b) Mit einer Lösung von phosphorsaurem Ammoniak in Essigsäure.

L i n c k[1]) fand, daß aufgekittete, oben vom Kanadabalsam gereinigte Dünnschliffe reinen isländischen Doppelspates, mit einer Lösung von phosphorsaurem Ammon in verdünnter Essigsäure behandelt, sich in nicht allzu langer Zeit vollständig auflösen, während gleiche Präparate von Dolomit und Magnesit nur oberflächlich wenig zersetzt werden und sich sofort mit einer die weitere Einwirkung der Essigsäure verhindernden Schicht von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia bedecken. Die Behandlung wurde stets auf 24 Stunden ausgedehnt. Schon bei einem Gehalte von 12—15 Prozent Magnesiumkarbonat wurden die Dünnschliffe erheblich angegriffen. Seine Lösung stellte L i n c k sich her aus 20 cm^3 offizineller Phosphorsäure, welche mit Ammoniak schwach übersättigt, mit 30 cm^3 offizineller Essigsäure gemischt und auf ca. 100 cm^3 mit destilliertem Wasser verdünnt wurde. Zweckentsprechender dürfte es vielleicht sein, eine der Phosphorsäure äquivalente Menge Essigsäure zu verwenden, da man dann die gleiche Flüssigkeit bis zum Aufhören jeder Wirksamkeit immer wieder benutzen kann.

c) Mit Blauholzchloraluminiumlösung.

Stört die Schwarzfärbung des Calcit bei dem ersten Verfahren, so kann man nach L e m b e r g[2]) folgendes Verfahren einschlagen:

Aus Aluminiumsalzlösungen wird durch Calcit in der Kälte Tonerdehydrat rasch und vollständig gefällt, wogegen diese Reaktion beim Dolomit sehr viel langsamer eintritt. Wird ferner Tonerde bei Gegenwart eines Farbstoffes aus Al-Salzlösungen niedergeschlagen, so verbindet sie sich gewöhnlich mit dem Farbstoff zu einem in Wasser unlöslichen sogenannten Lacke, der je nach dem Farbstoffe verschieden gefärbt ist. Zur Prüfung der Karbonate dienen folgende Lösungen: 4 Teile trockenes Chloraluminium Al_2Cl_6 werden in 60 Teilen Wasser gelöst, 6 Teile Blauholz (Haematoxylon campechianum) zugegeben und dann 25 Minuten unter Umrühren und Ersatz des verdampften Wassers gekocht und die tiefviolette Lösung filtriert. Behandelt man nun reinen Kalkspat oder Marmor mit solcher Lösung 5—10 Minuten lang und spült diese dann vorsichtig mit Wasser ab, so erscheinen die Kalkspatkörner durch oberflächlich abgelagerte Hämatoxylintonerde violett gefärbt. Dolomitkörner dagegen sind nach 10 Minuten noch fast farblos und erst nach 20 Minuten erscheinen spärliche, kleine, blaßblaue Stellen. Künstliche und natürliche Gemische beider Mineralien ließen sich auf diese Weise trefflich trennen. Die zweckmäßigste Dauer der Einwirkung ermittelt man durch Versuche; es ist angebracht, die Färbung des

---

[1]) Abh. zur geol. Spezialkarte von Els.-Lothr. Bd. III. Heft 1. S. 17. Straßburg 1884.

[2]) Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1888. Bd. 40. S. 357—359.

Calcites nicht weiter zu treiben, als zur deutlichen Erkennung notwendig ist, da die Tonerdehäutchen beim Abspülen mit Wasser umso leichter haften bleiben, je dünner sie sind.

d) *Mit Kupfervitriol*[1]).

Beim Kochen mit einer 10prozentigen Kupfersulfatlösung erzeugt Calcit eine blaue Färbung von basischem Kupferkarbonat, während Dolomit keine Änderung hervorruft.

e) *Mit Phenolphtalein*[2]).

Gleiche Teile von Calcit- bezw. Dolomitpulver geben beim Schütteln mit Wasser, dem ein wenig Phenolphtaleinlösung zugesetzt ist, ersteres eine dunkelrote, letzteres nur eine schwach rötliche Färbung der Flüssigkeit.

14. Unterscheidung von Kalkspat und Aragonit

erfolgt nach den von Meigen[3]) angegebenen Verfahren.

a) Wird das feine Pulver des zu untersuchenden Minerals mit verdünnter Lösung von Kobaltnitrat gekocht, so bewirkt Kalkspat keine Änderung, Aragonit aber anfänglich eine hellila, später eine dunkelviolette Färbung.

b) Behandeln von Kalkspat mit kalter konzentrierter Lösung von Mohrschem Salz (Eisenoxydulammoniumsulfat) bewirkt Niederschlag des gelben Eisenoxyds; Aragonit erzeugt dunkelgrünen Niederschlag von Eisenhydroxyduloxyd.

15. Schneller Nachweis eines Anhydritgehaltes in Gesteinen.

G. Berg[4]) behandelte das Gesteinspulver mit einem Tropfen verdünnter Salzsäure nebst ein oder zwei Tropfen Wasser und trocknete sogleich ein. Es bilden sich sofort kleine nadelförmige Kristalle, die aus Anhydrit bestehen und sich bei erneutem Befeuchten mit Wasser und allmählichem Eintrocknen in Gips verwandeln.

---

[1]) Nach Hinden, vgl. Anm. 1, S. 732.

[2]) Cornu, Zentralbl. f. Min. 1906. S. 550. — Tschermaks min. und petr. Mitt. 1906. Bd. 25. S. 493.

[3]) Zentralbl. f. Min. 1901. 577—578. — Ber. d. oberrhein. geol. Ver. 1902. 31—33. — Ber. d. naturforsch. Ges. Freiburg i. Br. 1902. Bd. XIII, S. 40; 1905. Bd. XV, S. 38, 55.

[4]) Zentralbl. f. Min. 1907. 688—690.

Kapitel 84.

Mikrophotographie.

Die Abbildung der verschiedensten Präparate, sowohl isolierter Mineralien, mikrochemischer Reaktionen, Mineralassociationen, wie Gesteinsstrukturen, Fossildurchschnitte u. s. w., findet immer weitere Verbreitung. Auch dann, wenn man sich der Abbildung als Vorlage zu einer Zeichnung bedient, ist die mikrophotographische Aufnahme als zweckmäßiges, gut ausgebildetes und wichtiges Hilfsmittel anzuwenden, das hier einer kurzen Besprechung unterzogen werden soll, namentlich, da sich bis jetzt nur an wenigen Stellen Anweisungen für diesen Zweck finden, die auf die Bedürfnisse des Mineralogen und Petrographen Rücksicht nehmen. Eine ausführliche Darstellung allgemeiner mikrophotographischer Methoden ist in einem Kataloge der Leitzschen Werkstätten enthalten: E. Leitz, Mikrophotographische Apparate und Objektive. Anleitung zum Gebrauch der Apparate mit photographischer Technik. 3. Ausgabe. Wetzlar 1905.

Man wolle wohl beachten, daß, bevor man brauchbare und reproduktionsfähige Negative erhält, mehrfache Versuche zur Erprobung des Apparates gemacht werden müssen. Man lasse sich durch eine Reihe von Fehlversuchen nicht abschrecken. Geduld und systematische Versuche führen auch hier zu brauchbaren Resultaten.

Die Behandlung der Aufnahmen beim Entwickeln, Fixieren etc. ist im allgemeinen die gleiche, wie bei gewöhnlichen photographischen Aufnahmen. Man findet das notwendige in den verschiedenen Hand- und Lehrbüchern der Photographie.

Es mögen hier nur einige mikrophotographische Apparate für mineralogisch-petrographische und zum Teil auch für paläontologische Untersuchungen kurz abgebildet und erläutert werden:

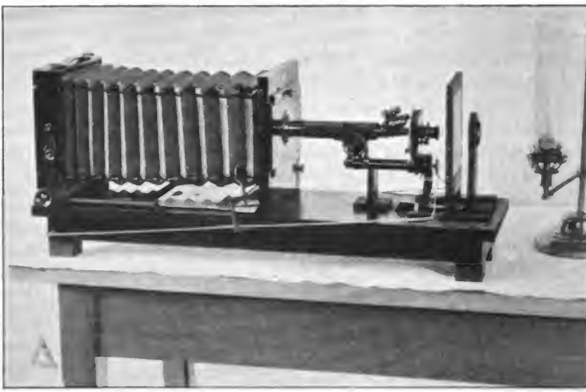
Fr. Heineck hat eine Einrichtung beschrieben[1]), die mit den Hilfsmitteln zusammengestellt werden kann, welche wohl jedem, der sich mit mineralogisch-petrographischen Arbeiten beschäftigt, zur Verfügung stehen oder doch leicht beschafft werden können. Figur 335 gibt die Aufstellung, die sich bei mannigfachen Arbeiten bewährt hat. Das Mikroskop ohne Okular wird mit einer photographischen Kamera (gut abgedichtet) auf einem Brette so zusammengestellt, wie die Figur angibt. Das Präparat wird mit einem Auerbrenner beleuchtet, dessen Licht durch eine Mattscheibe gleichmäßig verteilt, eventuell durch eine zwischengestellte Linse (wie in

---

[1]) Fr. Heineck, Die mikrophotographische Aufnahme von Dünnschliffen, Zentralbl. f. Mineralogie, 1903, S. 628—635.

der Figur) besonders konzentriert wird. Die Größe der Bilder kann durch Verkürzung oder Verlängerung des Kamerabalges verändert werden. Die Aufnahme geschieht am besten im verdunkelten Raume, weil man dort die Helligkeit der Bilder und damit die notwendige Belichtungszeit besser abschätzen kann. Die gleichzeitige Beobachtung des Bildes auf der Mattscheibe (am besten mit einer Einstelllupe) und scharfe Einstellung mittels der Mikrometerschraube wird durch einen Faden ermöglicht, der um diese

Fig. 335.



herumgeschlungen und, wie die Figur 335 zeigt, geeignet nach hinten geführt und dort etwas beschwert ist.

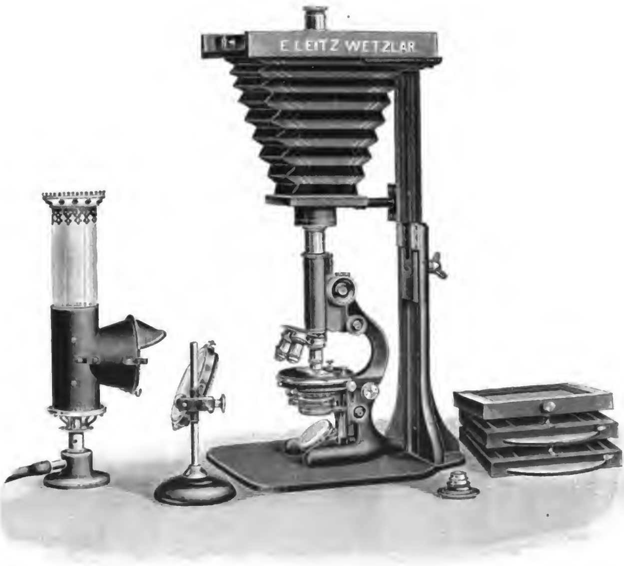
Zur Erzielung größerer Schärfe werden Blenden auf die Unterseite des Beleuchtungsapparates des Mikroskops mit Wachs aufgeklebt.

Die Wahl der Platten richtet sich nach verschiedenen Umständen, zu deren Beurteilung mehrfache Versuche gemacht werden müssen. Für die meisten Fälle sind orthochromatische Platten, wie die Silbereosinplatten von Perutz in München oder die orthochromatischen Isolarplatten der Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation (Agfa-Platten) am vorteilhaftesten. Natürlich ist damit nicht gesagt, daß auch noch viele andere Platten an Stelle der genannten benutzt werden können. Es wird sich hier jeder das geeignete Material selbst ausprobieren müssen. — Für viele Präparate ist die Anwendung verschiedener Farbenfilter, vor allem von gelb oder grün notwendig, die zwischen Lichtquelle und Mikroskop, unmittelbar vor dieses, zu schalten sind. Namentlich die mikrophotographische Aufnahme von

Dünnschliffen im parallelen polarisierten Lichte erfordert die Anwendung von Farbenfiltern, die man sich in verschiedenen Variationen selbst herstellen kann, indem man unbelichtete Bromsilberplatten fixiert und nach gründlichem Auswaschen in entsprechenden Farbstofflösungen badet.

Die Expositionszeit richtet sich nach so vielen verschiedenen Umständen, daß man sich daran gewöhnen muß, sie nach der Helligkeit des Bildes auf der Mattscheibe zu beurteilen. Man kann die Expositionszeit auch dadurch

Fig. 336.



ermitteln, daß man zunächst eine ganze Platte zwei Sekunden belichtet und dann die Kassette staffelförmig nach auf dem Schieber zu markierenden Strichen schließt und bei jeder neuen Stellung des Schiebers weitere zwei Sekunden belichtet. Die Platte ist dann in Streifen geteilt, welche um je zwei Sekunden voneinander abweichende Belichtung erlitten haben. Die Platte wird dann in mittlerer Zeitdauer entwickelt und nun der richtig belichtete Streifen herausgesucht, dessen Belichtungszeit sich aus der betreffenden Schieberstellung ergibt. Bisweilen wird man die Belichtungszeit,

besonders bei dicken Präparaten, bei Anwendung starker Vergrößerung oder von Gips- bezw. Glimmerblättchen, wie fast immer bei gekreuzten Nicols bedeutend verlängern müssen bis zu mehreren Minuten, ja Stunden, sogar bei Anwendung intensiverer Lichtquellen. Man trage alsdann nur Sorge, daß kein schädliches Nebenlicht an den verschiedenen Öffnungen des Apparates (Mikroskoptubus, Verbindung von Mikroskop und Kamera) eintritt. Man erreicht dies schon durch Umhüllen des Tubus mit einem dicken

Fig. 337.

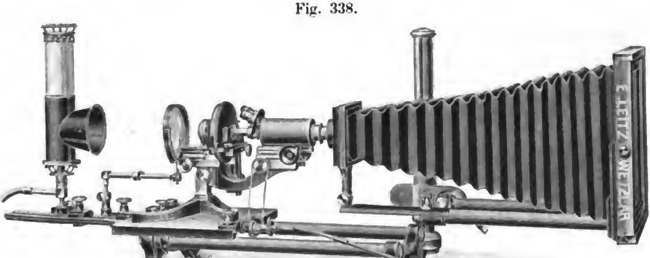


schwarzen Tuche. Bei etwa notwendiger langer Belichtungszeit wird man ebenfalls zu einem streifenweisen Belichten einer Probeplatte greifen können. Man muß dann die Belichtungszeit für die einzelnen Streifen sehr viel länger wählen (statt 2 Sekunden 30 Sekunden oder 1 Minute, was besonders auszuproben ist).

Ganz allgemein möge man den Rat befolgen, eine Platte zu belichten und dann sofort zu entwickeln, ohne daß der Apparat, wie Mikroskop, Beleuchtung und Objekt irgendwie verändert werden. Ist die Aufnahme verfehlt gewesen, so kann man jetzt eine neue Aufnahme machen, ohne daß man einen meist langwierigen neuen Aufbau des Apparates und neue Einstellung des Objektes auf der Mattscheibe vorzunehmen braucht.

An Stelle der in einzelnen Punkten etwas primitiven Einrichtung nach Heineck wird man in den Fällen, wo auch größere Mittel zur Verfügung stehen, einen besonderen mikrophotographischen Apparat benutzen. Verschiedene Firmen liefern zu mineralogisch-petrographischen Arbeiten geeignete Zusammenstellungen. Es möge hier auf zwei Apparate der Firma Leitz in Wetzlar hingewiesen werden, die sich durch vielseitige Verwendbarkeit auszeichnen[1]). Der kleine Apparat wird stehend benutzt (Fig. 336)[2]). Die für die Heineck sche Zusammenstellung gegebenen Anweisungen finden hier entsprechende Anwendung. Es ist wohl zu beachten, daß dieser Apparat sich auch zur direkten Photographie von undurchsichtigen Gegenständen bei auffallendem Lichte (Gesteine, größere Präparate zur allgemeinen Geologie, Fossilien, Mineralien u. s. w.) eignet. Die Aufstellung ergibt sich aus Figur 337. Zu diesen Aufnahmen liefert die Firma E. Leitz Summare bezw. Mikrosummare[3]) mit Zwischenringen, die an den Kamerahals anzuschrauben sind. Der Beleuchtung der Präparate ist besondere Beachtung zu schenken. Man hüte sich namentlich vor zu

Fig. 338.



scharfen Schatten und suche durch weiße Papierblätter, die an der dem direkt auffallenden Lichte entgegengesetzten Seite anzubringen sind, eine gleichmäßige Beleuchtung des aufzunehmenden Präparates herbeizuführen.

[1]) Vgl. G. Lincio, Neues Jahrb. f. Min. 1906, Beil. Bd. 23. S. 183—186 und den auf S. 735 schon erwähnten Katalog der Firma Leitz.

[2]) Die Figuren 336 und 338 zeigen Mikroskope ohne Polarisationseinrichtung. Es ist selbstverständlich, daß hier auch die normalen mineralogischen Mikroskope benutzt werden können. Nur ist auch bei diesen Apparaten von Leitz bei längerer Belichtungszeit für gute Abdichtung der Öffnungen im Tubus zu sorgen.

[3]) Vgl. Lincio, Neues Jahrb. f. Min. 1906, Beil. Bd. 23, 184.

Der große Apparat von Leitz in Wetzlar (mikrophotographischer Universalapparat, Fig. 338) erlaubt eine noch vielseitigere Verwendung. Der Apparat kann stehend, ähnlich dem kleinen Apparate, wie auch liegend (Fig. 338) benutzt werden. Er gestattet weiter die Aufnahme undurchsichtiger Gegenstände, dann, unter Zuhilfenahme eines vertikalen Tischchens und Anwendung der Mikrosummarobjektive, die Vergrößerung von Negativen oder von Bildern nach gewünschtem Maßstabe. Auch stereoskopische Aufnahmen lebloser Gegenstände können mit dem Universalapparate gemacht werden, da die Schienen eine parallele Verstellung des Objektes so ermöglichen, daß zwei Aufnahmen sich zu einem stereoskopischen Bilde vereinigen lassen. Endlich läßt sich der Apparat noch als Stativkamera zu gewöhnlichen Aufnahmen verwenden, wobei besonders die Verwendung zur Herstellung von Negativen (von Plänen, Karten etc. zur Verarbeitung zu Lichtbildern) wichtig ist, wenn man mit den Schienen des Apparates eine genau zu den Schienen und der Achse des ganzen Apparates senkrechte Tischplatte verbindet, auf der die betreffenden Pläne, Karten etc. befestigt werden können. Die nach verschiedenen Richtungen mögliche Verschiebung der Kamera ermöglicht eine leichte Einstellung der Kameraachse auf die Mitte des Planes, wobei dann die photographische Platte parallel dem Plane steht. Die Beleuchtung der Pläne etc. erfolgt dann am besten durch vier, an den vier Ecken der Tischplatte befestigte, aber verschiebbare mit einer Mattglasumhüllung versehene und gegenüber dem Apparate verdeckte elektrische Glühlampen.

Auch die von Böse [1]) angegebene Verwendung eines photographischen Apparates läßt sich bei dem Leitzschen Universalapparate durchführen, da hier ein ausgezeichneter Schlittenapparat vorliegt, auf den man nur ein drehbares Tischchen zu setzen hat.

---

[1]) E. Böse, Ein verbesserter Apparat zur photographischen Reproduktion von Ammonitensuturen und Ambulakren von Seeigeln. Zentralbl. f. Min. 1907. S. 422—429.

Paläontologische Methoden.

Kapitel 85.

Untersuchung von Mineralkohlen.

Wiesner[1]) gibt zur Unterscheidung von Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit und Graphit eine Untersuchungsmethode an, die sich auf das Verhalten dieser Körper gegen eine Chromsäurelösung bezieht. Näheres darüber ist an der bezeichneten Stelle nachzulesen.

Der unten angeführten Abhandlung Gümbels[2]) entnehmen wir über diesen Gegenstand folgende, durch einige Zusätze ergänzte Bemerkungen:

Um Torf, Braunkohlen, Steinkohlen oder Anthrazit zur Untersuchung im durchfallenden Lichte unter dem Mikroskope vorzubereiten, bedarf es einer besonderen Behandlungsweise, durch welche die selbst in dünnsten Splittern völlig undurchsichtigen Stoffe durchsichtig zu machen sind. Das zuerst von Franz Schultze[3]) in Rostock angewendete und später von Gümbel verbesserte Verfahren besteht darin, daß man die zerkleinerte Kohle mit einem Gemenge behandelt, welches aus einer gesättigten Lösung von Kaliumchlorat in Wasser und einer Salpetersäure vom spezifischen Gewichte 1,47 zusammengesetzt ist. Bei zu energischer Einwirkung auf wasserstoffreichere, zumeist jüngere Kohlen kann man diese Mischung beliebig verdünnen. Man läßt sie in der Kälte tagelang auf die Proben einwirken, und erkennt den fortschreitenden Erfolg der Einwirkung an der Färbung der Flüssigkeit. Wird diese nur hellgelb, so versucht man den Oxydationsprozeß dadurch zu steigern, daß man das Gemenge erwärmt. Bleibt der Erfolg auch dann aus, so vermengt man ungelöstes Kaliumchlorat mit der Kohlenprobe und übergießt das Gemenge in einem Probiergläschen mit konzentrierter Salpetersäure. Dieser Prozeß ist mit großer Vorsicht

---

1) Sitzungsberichte der Wiener Akademie. 1892. Kl. I. S. 379–418.

2) Gümbel, C. W., Beiträge zur Kenntnis der Texturverhältnisse der Mineralkohlen. Sitzungsber. der math.-phys. Klasse der kgl. bayer. Akad. d. Wiss. 1883. Heft I. S. 111–216. Mit 3 Taf.

3) F. Schultze: Über das Vorkommen wohlerhaltener Zellulose in Braunkohle und Steinkohle. Monatsber. d. Berl. Akad. 1855. S. 676–678.

einzuleiten, einmal weil dabei das ungemein giftige Chlorgas in Freiheit gesetzt wird, und sodann, weil bei den stattfindenden chemischen Umsetzungen sich sehr leicht eine ungeheuer explosive, ölige Substanz in kleinen Tröpfchen ausscheidet, die aus Chlorstickstoff besteht und infolge ihrer fast ohne jede äußere Veranlassung stattfindenden heftigen Zersetzungen leicht Unheil anrichten kann. Aber selbst diesem Verfahren setzen manche Anthrazite und ältere anthrazitische Faserkohlen einen so energischen Widerstand entgegen, daß selbst bei Anwendung von Kochhitze nur geringe Mengen von Substanz zersetzt und nur ganz feine Splitter durchscheinend werden. In solchen Fällen kommt man manchmal zum Ziele, wenn man der Chloratbehandlung ein Kochen der Substanz in konzentrierter Schwefelsäure voraufgehen läßt, wodurch wenigstens einzelne Kohlenteile bei nachheriger Behandlung mit Salpetersäure hinreichend durchsichtig werden. Diejenigen Anthrazite, die selbst solchen starken Mitteln gegenüber sich noch widerspenstig zeigen, kann man nur dadurch in eine für die mikroskopische Untersuchung geeignete Form überführen, daß man sie langsam einäschert, wodurch in dünnen Splittern die pflanzliche Textur oft ausgezeichnet sichtbar wird.

Die große Mehrzahl der Steinkohlen, sowie alle Braunkohlen und Torf färben aber schon die zuerst genannte, von G ü m b e l als Bleichflüssigkeit bezeichnete Mischung tiefbraun und entfernen aus der Kohle bereits so viel Substanz, daß ein für die mikroskopische Betrachtung geeigneter Rückstand bleibt, bei dem nur die tiefbraune Färbung störend ist. Die Kohlenstückchen haben, wenn der Prozeß so weit vorgeschritten ist, eine licht braungelbliche Färbung angenommen. Um nun die durch gelöste Humussubstanzen bedingte dunkelbraune Färbung zu beseitigen, darf man nicht etwa die Bleichflüssigkeit mit Wasser versetzen, weil dabei sofort unlöslicher Humus in Flocken ausfallen, die Kohlenstückchen umhüllen, und die mikroskopische Untersuchung erschweren würde. Ebensowenig empfiehlt es sich, durch Zusatz von Ammoniak zu einer Verdünnung und Auswaschung zu schreiten, weil dieser nach G ü m b e l s Erfahrungen die pflanzliche Textur der zurückbleibenden Kohlenstückchen sehr leicht verwischen und unter Umständen gänzlich zerstören kann. Man gieße vielmehr die Bleichflüssigkeit von der Probe vollständig ab und füge dann zu der letzteren starken Alkohol hinzu, welcher die Humussubstanzen auflöst und den Kohlenstückchen einen hohen Grad von Durchsichtigkeit verleiht. Es kann indessen der Fall eintreten, daß selbst der Alkohol den Rückstand der Kohlensubstanz mehr oder weniger auflöst, was wohl meist auf eine zu energische Oxydation zurückzuführen ist. Aus diesem Grunde tut man gut, einen Teil des Rückstandes schon vor der Behandlung mit Alkohol unter das Mikroskop zu bringen, weil man dabei häufig noch Details sieht, die später durch den Alkohol fortgenommen werden. Überhaupt

hängt das volle Gelingen des Versuches einzig und allein davon ab, daß man den Zeitpunkt gut abpaßt, in welchem die Oxydation der Kohle den richtigen Grad erreicht hat. Es empfiehlt sich, einer richtigen Beurteilung dieses Momentes mit Hilfe einiger systematischer Vorversuche näher zu kommen.

Die Beschaffenheit der für solche Untersuchungen zu verwendenden Kohlenstücke hängt von ihrer Struktur ab. Am vorteilhaftesten nimmt man möglichst dünne, plattenförmige Splitter, doch ist es oft unmöglich, solche zu gewinnen. Die Präparierung von Dünnschliffen liefert zwar ein sehr brauchbares Material, aber verglichen mit dem zu ihrer Herstellung erforderlichen Zeitaufwande liefern sie keinen entsprechend größeren Vorteil, als die mit dem Hammer gewonnenen flachen Splitter. Es empfiehlt sich, diese Splitter sowohl parallel der Schichtfläche, als senkrecht zu ihr zu schlagen und einer gesonderten Behandlung und Untersuchung zu unterwerfen.

Die in Begleitung der Steinkohlen auftretenden verschiedenen Schieferarten sind ebenfalls öfter sehr reich an wohlerhaltenen Pflanzenresten und können durch Flußsäure, unter Auflösung der die kohligen Substanzen einschließenden, erdigen Teile, für die nachherige Behandlung mit Bleichflüssigkeit vorbereitet werden. Dies gilt namentlich auch von denjenigen Pflanzenresten des Schiefers, die mit Kohlenrinde erhalten sind, wie Blätter und Fiederchen. Sie können durch dieses Mittel bisweilen in zusammenhängenden Partien von der Schiefermasse losgelöst und dann weiter behandelt werden.

Aus bituminösen, mergligen Gesteinen, wie sie in Begleitung von Stein- und Braunkohlen bisweilen auftreten, löst man durch Behandlung mit verdünnter Salzsäure den Kalk aus und erhält dann meist einen zusammenhängenden Körper, der sich wie erdige Schieferkohle verhält und weiterer Behandlung wie oben unterworfen werden kann.

Die zu den Sapanthrakonen P o t o n i é s gehörende Cannel- und Bogheadkohle und der zu den Liptobiolithen gehörende Pyropissit werden mit einem oder mehreren der Lösungsmittel für Harze und Fette (Alkohol, Äther, Schwefelkohlenstoff, Chloroform, Benzin u. a.) vom Harze befreit, wodurch die kohlige Substanz den Einwirkungen der Bleichflüssigkeit zugänglicher gemacht wird.

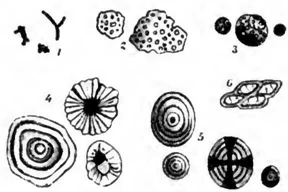
Übrigens lassen sich die Sapanthrakone im Gegensatze zu den Humuskohlen ohne weiteres schleifen und geben durchsichtige Dünnschliffe.

Den größten Widerstand setzen von den Pflanzenteilen die Gebilde der Epidermis, die Sporen und Indusien von Farnen, die Pollen von Koniferen und anderes den chemischen Einwirkungen entgegen. Diese Fähigkeit bleibt ihnen, auch wenn sie einen Verkohlungsprozeß durchgemacht haben. Wenn man daher die mit der Bleichflüssigkeit vorbereiteten Proben noch

weiter mit verdünnten Alkalien behandelt, so geht noch ein großer Teil der zurückgebliebenen Substanz in Lösung, und es bleibt nur eine kleine Menge von zarten Flocken und Häutchen zurück, die sich unter dem Mikroskop als die oben gekennzeichneten Gebilde ergeben.

Gümbel macht an der angeführten Stelle noch auf gewisse häufiger vorkommende Erscheinungen aufmerksam, welche zuweilen bei diesen verschiedenen Prozessen auftreten und den Unerfahrenen leicht täuschen. So können neben den kohligen Substanzen im Rückstande Schiefersplitterchen auftreten, welche eine Art von zelliger Struktur (Fig. 339, 1) besitzen und die Vermutung nahe legen können, daß Pflanzenfragmente vorliegen. Es finden sich ferner unter den Rückständen häufig dünne Häutchen und selbst größere Flocken einer gelblichen oder graulichen Masse, welche von äußerst zahlreichen runden, ungleich großen, unregelmäßig verteilten

Fig. 339.



Löchern (Fig. 339, 2) durchbrochen sind und an organische Formen erinnern. Es sind harz- oder humusartige Ausscheidungen aus den Kohlen, welche sich wahrscheinlich erst infolge der Säureeinwirkung gebildet haben. Häufig auch erscheinen unter dem Mikroskop winzig kleine, tiefbraune oder gelbliche Kügelchen, welche zuweilen in auffallend gleicher Größe so aneinandergereiht sind, daß sie auf das lebhafteste gewisse Algenformen vortäuschen. Noch mehr tun dies größere, vollständig runde Kügelchen, welche entweder kompakt oder im Inneren hohl und dann von einer Hülle umgeben sind, die aus einem der beschriebenen durchlöcherten Häutchen besteht (Fig. 339, 3). Sie erinnern wegen ihres zierlichen Aussehens an Sporen und Pollen. Da die Beobachtung an Dünnschliffen gezeigt hat, daß derartige Kügelchen in der unbearbeiteten Kohle schon vorhanden sind, und da ihre Substanz sich in der Wärme verflüchtigt und von Lösungsmitteln zum Teil aufgenommen wird, so ist wahrscheinlich ein großer Teil dieser verschiedenartigen Gebilde nichts anderes als ein schon in der Kohle enthaltenes Fossilharz.

Es finden sich im Rückstande ferner dünne Blättchen mit konzentrischen Linien und strahlig-faserigen Streifen (Fig. 339, 4), welche häufig strahlen-

förmig von einem etwas exzentrischen Punkte auslaufen, so daß diese kleinen Gebilde an Fischschuppen erinnern. Auf Klüften der Kohle kommen in sehr großer Menge derartige Blättchen vor, welche aus Kalk, Dolomit und Eisenspat, Schwefelkies, Bleiglanz oder Zinkblende bestehen und auch in der Asche in großer Anzahl wieder erscheinen. Diese alle müssen bei der Behandlung mit der Bleichflüssigkeit in Lösung gehen und können daher im Rückstande nicht mehr vorkommen. Dagegen scheinen die Blättchen in diesem aus Quarz zu bestehen, da sie im polarisierten Lichte schwache Farben zeigen und sich in Flußsäure auflösen.

Zum Schluß gedenkt Gümbel noch zahlreicher kleiner, scheibenförmig gewölbter, kokkolithenähnlicher Körperchen mit zarten konzentrischen Streifen und schwacher Doppelbrechung, welche im polarisierten Lichte das schwarze Kreuz sphärolithischer Gebilde sehr schön wahrnehmen lassen (Fig. 339, 5 u. 6). Er meint, daß diese Scheibchen, die er auch in den Rückständen der in Säuren aufgelösten Kalksteine sehr häufig beobachtet hat, aus Kieselsubstanz bestehen und gleichsam die ersten elementaren Formen der beginnenden Verkieselung darstellen.

Kapitel 86.

Das Sammeln und Präparieren fossiler Pflanzen aus festen Gesteinen.

Prof. Dr. Potonié hat seine Erfahrungen auf diesem Gebiete in einem Aufsatze niedergelegt, der in Nr. 35 des XI. Jahrganges der Naturwissenschaftlichen Wochenschrift 1896 erschienen ist und im folgenden, von ihm selbst verbessert und ergänzt, wiedergegeben wird.

Fossile Pflanzenreste sind nur an bestimmten beschränkten Lokalitäten zu finden, aber dort oft in reicher Fülle. Bei dem Gewicht des die Reste bergenden Gesteins, das eine Beschränkung und Auswahl gebietet, muß man über die Objekte, die am meisten das Aufsammeln lohnen, orientiert sein. Freilich ist in erster Linie nur der Paläobotaniker in der Lage, eine richtige Auswahl zu treffen, aber für den weniger Orientierten wird es doch von Vorteil sein, einige Winke zu erhalten, die ihn befähigen, den Wert seiner Aufsammlungen jedenfalls zu erhöhen.

Ist das Vorkommen der fossilen Reste an ein Humuslager (Steinkohle, Braunkohle) geknüpft, so wird man im allgemeinen im Hangenden des Lagers eine größere Ausbeute erwarten dürfen, als in den liegenden Bergmitteln, weil die ganz überwiegende Mehrzahl der Lager genau wie die rezenten Moore an Ort und Stelle entstanden ist, und demnach das unmittelbare Liegende namentlich unterirdische Teile von Pflanzen birgt, wie Wurzeln und Rhizome, während die deckenden Schichten vorwiegend

Gelegenheit hatten, oberirdische Pflanzenteile aufzunehmen, die besonders wichtig sind.

Nur recht selten (z. B. Einschlüsse im Bernstein und chemische Niederschläge) sind es andere als sedimentäre Gesteine, welche Reste enthalten; vorwiegend kommen diese in Tonschiefern und Schiefertonen, sodann in Kalk- und Sandsteinen vor.

Bei Halden- und Geröllmaterial sowie bei Geschieben wird man meist mit dem üblichen Handwerkszeug des Geologen, vor allem mit zwei geologischen Hämmern, einem kleineren und einem größeren, auskommen: hat man es jedoch mit anstehendem Gestein zu tun, so ist schwereres Werkzeug, wie Brechstange, Hacke nicht zu entbehren.

Bei dem Zerschlagen des Gesteins achte man stets darauf, die Schichtungsflächen des Gesteins zu spalten. Bei milderen Tonschiefern und gut geschichteten Gesteinen macht das keine Schwierigkeit. Sind auf den Querbrüchen zu den Schichtungsflächen Kohlefäden zu sehen, so wird man das Gestein hier auseinanderschlagen. Gute Dienste leistet es vielfach, wenn das Gestein mit den Fossilresten eine Zeitlang in Wasser gelegt und dann dem Froste ausgesetzt wird. Das zu Eis werdende, in die feinen Spalten eingedrungene Wasser treibt das Gestein nach den Schichtungsflächen auseinander, da z. B. Blattreste seine Homogenität unterbrechen. Nach H e e r sind in dieser Weise die besten Platten aus dem Tertiär von Öningen gewonnen worden. Pflanzenreste in Tonen, die im feuchten Zustande knetbar sind, lassen sich in genügend brauchbarem Zustande nur herausbringen, nachdem das Gestein getrocknet ist; in manchen Fällen darf es aber nicht vollständig austrocknen, da es sonst leicht in kleine Stücke auch senkrecht zu den Schichtungsflächen auseinandergeht, in anderen Fällen ist ein Auseinanderbrechen schon im bergfeuchten Zustande notwendig. Die angegebene Behandlung mit Wasser ist also nicht immer brauchbar, z. B. nicht bei Schieferton, der durch den Einfluß der Atmosphärilien schnell in kleine Partikelchen zerfällt. Eine Probe mit einem Gesteinsstückchen muß also der Anwendung der beschriebenen Methode vorausgehen.

Das Auffinden echter Versteinerungen, d. h. solcher, die noch der anatomischen Untersuchung zugänglich sind, ist begreiflicherweise speziell für die Botanik ganz besonders wichtig. Sie finden sich oft in Konkretionen. Liegt ein Fossil aus einem anderen Material vor, als das einbettende Gestein, so ist es daraufhin zu prüfen, ob es eine echte Versteinerung ist. Oft kann man schon mit der Lupe Zellenstruktur konstatieren. Fossile Hölzer sind als solche verhältnismäßig leicht zu erkennen.

Für den Geologen sind diese Reste weniger wichtig, dafür aber oft gerade Abdrücke, Steinkerne und kohlig erhaltene Reste, die unter Umständen für den Botaniker nur untergeordneten Wert haben. Dem Geologen liegt vorwiegend daran, auf Grund der Petrefakten Horizontbestimmungen

zu gewinnen und es ist hierbei allerdings gleichgültig, welchen botanischen Wert diese Objekte haben.

Es ist natürlich in erster Linie darauf zu achten, falls von ein und derselben Art viel Material vorliegt und nicht alles mitgenommen werden kann, Stücke zu sammeln, die möglichst viel bieten, die so viele Teile als möglich in organischem Zusammenhang zeigen; das werden meist die größeren und großen Exemplare sein, auf die man also zunächst sein Augenmerk zu richten hat. Nach Fortpflanzungsorganen an den Resten, wie Sori und Sporangien auf Farnwedeln u. s. w. muß stets gesucht werden. Es ist zweckmäßig, Druck und Gegendruck eines Fossils mitzunehmen. Bei Steinkernen ist auf peinliche Erhaltung einer eventuellen Kohlenrinde zu achten, da ihre Außenfläche der Skulptur der Außenfläche des Organs entspricht, die z. B. bei Lepidodendren und Sigillarien die Bestimmung allein ermöglicht. Auch bei anderen Fossilien, wie Blattresten, ist die Erhaltung der zu Kohle gewordenen organischen Substanz von Wichtigkeit, da die Blätter oft ober- und unterseits verschiedene Skulpturen besitzen, z. B. auf der einen Seite behaart, auf der anderen kahl sein können.

Niemals dürfen die aufgesammelten Stücke ohne weiteres über- und aufeinander gelegt werden, da sie sich gegenseitig leicht beschädigen und die feineren Skulpturen leiden; vielmehr müssen sie sofort in Papier gepackt werden. Ist ein Exemplar in mehrere Stücke zerfallen, so ist jedes einzelne Bruchstück für sich einzuwickeln, aber die zusammengehörigen Stücke sind zu einem größeren Pakete zu vereinigen.

Zum Transport nach dem definitiven Packort dienen am besten große Netze aus starker Schnur von der Form der früheren Taschenbörsen; ein solches Netz läßt sich bequem über der Schulter tragen und nimmt eine ganz gehörige Partie von Material auf. Ein Rucksack ist ebenfalls sehr bequem, jedoch sollte man daneben immer noch zwei Sammelnetze mitnehmen.

Die Verpackung zur Versendung hat am besten so zu erfolgen, daß um die eingewickelten Stücke eine — je nach ihrer Größe oder mehr oder minder leichten Zerbrechlichkeit — mehr oder minder dicke Umhüllung eines weichen, einen elastischen Mantel bildenden Packmaterials, wie Watte, Putzwolle, Holzwolle, Moos zu geben ist; dagegen sind Sägespäne zu vermeiden; das Ganze ist dann nochmals mit Umschnürung in einen Papierumschlag zu tun. Die so behandelten Stücke können dann ohne weiteres in Kisten getan werden, wobei natürlich etwaige Lücken beliebig auszufüllen sind. Die Kisten sind nicht zu groß zu wählen.

Ein Formatisieren der Stücke in dem Sinne, wie es die Petrographen mit ihren Objekten vornehmen, denen sie allen die gleiche Form und Größe geben können, ohne sie zu entwerten, ist natürlich bei der Mannigfaltigkeit von Gestalt und Größe der Pflanzenfossilien ausgeschlossen; jedoch können

die die Fossilien tragenden Gesteinsstücke durch Wegnahme belangloser Teile und störender Vorsprünge am Rande mittels einer scharfen, am besten mit Federung versehenen scharf schneidenden Stahlzange bequem verkleinert werden. Der Versuch, große Teile mit einem Male in dieser Weise wegzunehmen, ist mißlich, weil dann das Stück oft quer durch den organischen Rest, resp. Abdruck durchspringt; es dürfen also nur ganz kleine Brocken nacheinander entfernt werden. Bei einiger Übung in der Führung des Hammers, der stets möglichst schnell mit der Vorderkante seiner Bahn auffallen muß, läßt sich mit diesem das Formatisieren gröberer Stücke vornehmen. Die Schläge müssen kurz und sehr kräftig sein, und auch hier sind nur kleine Partien nach und nach zu entfernen. Sollen übermäßig dicke Stücke dünner gestaltet werden, so ist mit dem Flachmeißel zu arbeiten, dessen Schneide natürlich in der Richtung der Schichtungsflächen einzusetzen ist. Das Formatisieren von ungeschichteten Gesteinen, wie Toneisensteinknollen, ist sehr schwierig und nach Möglichkeit zu vermeiden, da sie in unberechenbaren Richtungen zerspringen.

Namentlich beim Zerschlagen des Gesteins spaltet es nicht immer genau und überall in der Schichtungsfläche, so daß oft Teile z. B. eines Blattes bedeckt bleiben; diese Bedeckung entfernt man durch vorsichtige Wegmeißelung, wobei besonders der Spitzmeißel gute Dienste leistet. Das Stück wird dabei auf ein Sandkissen gelegt.

Zerbrochene Fossilien repariert man in folgender Weise: Man rührt gleiche Teile von Wismutnitrat, Stärke und Zucker mit genügendem Wasser zu einem flüssigen Kleister zusammen. Mit einem Pinsel trägt man diese Mischung auf die beiden Teile der gebrochenen Flächen auf und fügt beide Stücke gleich wieder zusammen. Das Klebemittel wirkt sofort. Wenn das Fossil gefärbt ist, kann man ein wenig von dem Gestein, aus welchem das zu klebende Stück besteht, abkratzen und mit dem Klebestoff mischen. Auf diese Weise erhält die reparierte Stelle dieselbe Farbe, wie die sie umgebenden Teile. Läßt man den Klebestoff 14 Tage gären, so nimmt seine Klebekraft zu.

Vorzüglich ist auch Fischleim („Syndetikon"); auch hier ist eine Mischung mit einem feinen Pulver, z. B. mit Bleiweiß, oft von Vorteil.

Hat man mehrere Bruchstücke zusammenzusetzen, so muß das an aufeinanderfolgenden Tagen geschehen: an jedem Tage ein Stück, nachdem das vorherige bereits vollkommen befestigt ist. Es ist dabei aufmerksam darauf zu achten, daß auch nicht eine Spur des Klebemateriales auf eine Fläche gerät, die noch mit einem der Bruchstücke zu verbinden ist, weil nach dem Eintrocknen dieses Bruchstück nicht mehr genau der Fläche anpaßt und die Festigkeit wesentlich herabgemindert wird.

Nicht alle Fossilien sind an der Luft beständig: enthalten sie z. B. neben der organischen Substanz Schwefelkies oder ein Mineral, das sich durch

Einwirkung namentlich feuchter Luft verändert, so kann das Fossil gänzlich der Vernichtung anheimfallen, verwittern. In solchen Fällen muß die Luft etwa dadurch, daß das Fossil in Petroleum oder sonst einer passenden Flüssigkeit aufbewahrt wird, abgesperrt werden; man kann das Stück auch mit einer erhärtenden Flüssigkeit (Schellacklösung u. dgl.) überziehen.

Lockere, leicht bröckelige oder durch bloßes Anfassen zerreibliche Gesteine mit Abdrücken oder Resten müssen mit einer Flüssigkeit, welche die Bestandteile des Gesteins zusammenkittet, getränkt werden. Je nach Umständen wird man hierzu Wasserglas, Schellacklösung, dünnen Fischleim u. dgl. verwenden.

Grubenfeuchte Subfossilien, z. B. Koniferenzapfen, Früchte, Hölzer aus der Braunkohle, zerfallen und zerreißen in lufttrockenem Zustande sehr leicht. Man erreicht viel, wenn man solche Objekte ganz langsam trocknen läßt, etwa längere Zeit im Keller aufbewahrt. Interessant ist es, daß reife, aber noch geschlossene, subfossile Zapfen aus der Braunkohle und dem Torf bei guter Erhaltung nach dem Austrocknen regelrecht aufspringen und den geflügelten Samen ausstreuen.

Haben die Pflanzenreste, wie z. B. in Kalktuffen, durch gänzlichen Schwund der organischen Bestandteile nur Hohlräume hinterlassen, so kann man ihre Form wieder gewinnen, wenn man den Tuff unter der Luftpumpe oder durch Anwendung von Druck mit flüssigem Wachs oder einer Wachs-Stearinmischung oder mit Gips imprägniert und das Gesteinsmaterial nachher mit Salzsäure löst. In dieser Weise kann man schöne Modelle von Objekten, wie Früchte, Samen und sogar Blüten erhalten. Laubblattabdrücke sind in Tuffen meist gut erhalten und bedürfen zu ihrer genügenden Erkennung der erwähnten Behandlung nicht. Auch durch bloßes Eintauchen in die Flüssigkeit wird man Erfolge haben, namentlich wenn man die Imprägnierungsmasse während des Eindringens warm hält; das muß geschehen, so lange Luftblasen und Wasserdampf dem Gesteinsstück entsteigen. Im Pariser Musée d'histoire naturelle befinden sich schöne nach dieser Methode hergestellte Objekte.

Die künstliche Nachbildung von Resten oder Abdrücken, die sich in fremdem Besitz befinden, läßt sich dann, wenn es sich um Reliefs handelt, oft leicht bewerkstelligen. Man hat sonst künstliche Abdrücke von Pflanzenpetrefakten, die Relief zeigten, in der verschiedensten Weise hergestellt: durch Aufdrücken von nassem Fließpapier auf das Petrefakt, welches nach dem Trocknen das Relief behält, durch direktes Aufgießen von über Feuer flüssig gemachtem Wachs oder Schwefel nach vorheriger Benetzung des Stückes, durch Aufdrücken von Zahnpasta oder Guttapercha, oder durch Übergießen mit Gips. Alle diese Methoden haben — abgesehen davon, daß sie nicht getreu das Objekt wiedergeben, da sie das erhaben zeigen, was auf dem Petrefakt vertieft ist und umgekehrt, was unter Umständen

freilich gerade von Vorteil sein kann — Mängel, die, wie die Benetzung des Petrefaktes, diese Methoden zuweilen ausschließen. Eine von Potonié mit bestem Erfolg angewendete, sehr einfache, neue Methode beseitigt die Mängel und liefert ganz ausgezeichnete Resultate. Das Verfahren ist das folgende: Eine auf die abzudrückende Fläche des Gesteinsstückes gelegte Zinnfolie (Stanniol) wird mit einer Nagelbürste dem Relief angebürstet, bis dieses in allen seinen Einzelheiten auf der Zinnfolie erscheint. Ist das Relief verhältnismäßig hoch, so entstehen leicht kleine, kaum sichtbare Risse in der Zinnfolie und man tut dann gut, noch eine Zinnfolie der ersten aufzubürsten und wenn nötig auch noch eine dritte. Das Gesteinsstück wird dann entfernt und auf die Fläche der ersten Folie, welche das Negativ des Petrefaktes zeigt, am besten über Feuer flüssig gemachtes, feinstes Modellierwachs, wie es die Goldarbeiter verwenden, oder auch geschmolzener Schwefel gegossen. Nach dem Erkalten läßt sich die Folie leicht von dem Wachsabguß abziehen. Ein Überstreichen des letzteren mit feinem Graphitpulver bewirkt oftmals ein schärferes Hervortreten der Einzelheiten und verleiht dem Wachsabdruck das Aussehen von Tonschiefer der Steinkohlenformation, welchem Gestein ja so viele Pflanzenfossilien entstammen. Man erhält so Modelle, die dem Original entsprechen. — Will man ein Negativ des Petrefaktes haben, wie das z. B. bei Lepidophyten, Sigillarien und Lepidodendren wichtig ist, die oft nur als Hohldruck der ursprünglichen Stammoberfläche erhalten sind, also nicht das Positiv der letzteren bieten, so ist die direkte Benutzung von Modellierwachs oder Schwefel am empfehlenswertesten, um das gewünschte Positiv zu erhalten. — Bei dieser Gelegenheit sei mit Nachdruck darauf aufmerksam gemacht, daß es sehr mißlich ist, wie man das leider meist findet, stets und unter allen Umständen für Veröffentlichungen vom Original zeichnen zu lassen, sondern daß es dringend anzuraten ist, in den Fällen, wo Hohldrücke vorliegen, wie also z. B. sehr oft bei den Lepidophyten, sich eine Positivskulptur der Stammoberfläche durch Herstellung eines Modelles zu verschaffen und diese zu veröffentlichen. Ein Vergleich verschiedener Arten ist nur dann sicher möglich und Irrtümer werden leichter vermieden, wenn alle abgebildeten Objekte gleichsinnige Skulpturen besitzen und wenn diese alle Positivoberflächen der ursprünglichen Pflanzen entsprechen. Eine Abbildung soll eine Anschauung von dem wirklichen Aussehen der Pflanze geben; wie zufällig das Petrefakt ausgefallen ist, ob dies ein Hohldruck ist oder nicht, ist eine untergeordnete Sache. Bei der Leichtigkeit, mit der die eigentlich so selbstverständliche, erwähnte Forderung befriedigt werden kann, sollte sie allgemein Eingang finden.

Zuweilen treten Abdrücke nur undeutlich hervor, werden jedoch augenfälliger und dadurch der Untersuchung zugänglicher, wenn das Stück ganz schwach glänzend gemacht wird, etwa durch Überziehen mit einer sehr

dünnen Fischleimlösung; man überzeugt sich weiter, ob eine Benetzung mit Wasser vermittelst eines feuchten Schwammes Erfolg hat.

Jedes Objekt für die Sammlung ist mit einem Etikett mit genauer und gewissenhafter (z. B. auch Angabe, ob auf der Halde gesammelt) Bezeichnung der Herkunft zu bekleben, mindestens aber mit einer deutlichen Bezeichnung zu versehen, die auf dem beiliegenden Etikett, um Verwechslungen von Stücken und Etiketten zu vermeiden, zu wiederholen ist. Da angeklebte Papieretiketten zuweilen so stark angegriffen werden, daß sie schließlich zerfallen oder doch unleserlich werden, so ist es am geratensten, die Stücke mit einer deutlichen guten Farbe zu bezeichnen, etwa mit Mennige. Nach dem Trocknen derselben ist eine solche Schrift mit Schellacklösung zu überstreichen. Bei Besuch mehrerer Fundpunkte auf ein und derselben Exkursion sind die einzelnen Stücke sofort, je nach dem Fundpunkte, mit einem besonderen Zeichen zu versehen; hierzu sind Zahlen, die sich vermittels eines Spitzmeißels oder sonst eines harten Objektes (wie eines Champagnerbrechers am Taschenmesser) leicht einritzen lassen, am geeignetsten. Sie geben dann die Reihenfolge der besuchten Punkte an, die in den nächsten Tagen nicht so leicht vergessen wird. Bei größeren Reisen wird man notwendig die Zahlen im Tagebuch mit Angabe des Fundpunktes wiederholen müssen. Stücke ohne oder mit ungenauer Fundortsangabe sind natürlich für den Geologen im ersten Falle ganz, im anderen fast wertlos.

Die echten Versteinerungen bedürfen natürlich einer besonderen Präparierung vor der Untersuchung. Eine vorläufige Orientierung mit der Lupe ist meist nach bloßem Anschleifen und Polieren einer Fläche möglich. Schliffe werden am besten mit der Diamantkreissäge geschnitten, dann mit Kanadabalsam auf ein Glasplättchen, einen Objektträger, aufgekittet und beiderseits nach Erfordernis dünn geschliffen und poliert. Über die Herstellung mikroskopischer Dünnschliffe von solchen Objekten, die zu weich oder zu bröckelig sind, als daß sie ohne weiteres ausgeschliffen werden könnten, hat Triebel in der „Naturw. Wochenschr.“ IV (1889) Nr. 31, S. 245 berichtet. Er schreibt über seine Erfahrungen:

„Eine große Zahl braunkohlenartiger Hölzer, die nicht benetzt werden konnten, ohne zu quellen und zu zerfallen, und anderseits zu brüchig waren, um eine mechanische Bearbeitung zuzulassen, habe ich auf nachstehende Weise mit bestem Erfolg präpariert. Von dem Holz wird mit der Laubsäge ein für die gewünschten Schliffe ausreichendes Stück abgetrennt. Zumeist wird man von einem Stück Schliffe nach allen drei Richtungen machen wollen und die Größe des Stückes danach bemessen. Wenn das Holz vollkommen trocken ist, wird es in Terpentinöl getaucht und einige Minuten darin belassen, damit es völlig durchtränkt werde. Man tut gut, sehr bröckelige Stücke zuvor mit feinem Draht zu umwickeln, um den Zerfall

zu verhindern. Danach taucht man das Holzstück in eine heiße Mischung von Terpentinöl und Dammaraharz. Man wählt möglichst reine Stücke von Dammaraharz und übergießt sie mit so viel Terpentinöl, als etwa hinreicht, um das gepulverte Dammaraharz völlig zu durchtränken. Durch gelindes Erwärmen erreicht man bei einigem Rühren mit einem Glasstab die völlige Auflösung des Harzes. Man nimmt mit dem Glasstab einen Tropfen heraus, den man auf eine Metallfläche fallen läßt. Nachdem dieser Tropfen sich völlig abgekühlt hat, was immerhin einige Minuten dauert, prüft man seine Härte mit dem Fingernagel. Er darf nicht so spröde sein wie Kolophonium, sondern muß eben noch einen schwachen Eindruck des Nagels annehmen, oder bei verstärktem Druck gespalten werden. Ist er spröder, so setzt man zu der Mischung noch etwas Terpentinöl, im entgegengesetzten Fall etwas Harz, und nimmt die Probe aufs neue vor. Hat die Terpentin-Dammaraharzmischung die gewünschte Konsistenz, so bringt man in das geschmolzene Gemisch das mit Terpentinöl durchtränkte Holzstück und läßt es ganz untergetaucht so lange darin, bis die lebhafte Gasentwicklung nachgelassen hat. Eine Viertelstunde wird allemal ausreichen, und das Holz dann in allen seinen Hohlräumen, sowie auch in seinen etwaigen Lücken ganz mit Dammaraharz erfüllt sein. Man läßt das Gefäß mit der Mischung erkalten und nimmt das Stück Holz heraus, wenn das Harz so weit erstarrt ist, daß es auch aus größeren Lücken des Holzes nicht mehr ausfließt. Nach dem völligen Erkalten kratzt man die überflüssigen Harzmengen ab und schleift die gewünschte Fläche an. Ich habe mich hierzu stets einer nicht zu feinen Schlichtfeile bedient, auf der trocken hin und her geführt das Stück rasch eine Schliffläche erhielt, die auf einem vollkommen ebenen Schieferwetzstein mit Wasser poliert wurde. Ist das Dammaraharzgemisch zu weich, d. h. zu terpentinreich gewesen, so verschmiert es die Feile, war es zu spröde, so hat das Stück nicht die Festigkeit, die es bei richtiger Behandlung haben konnte; immerhin ist etwas Sprödigkeit des Harzes weniger unangenehm als zu große Weichheit. Das Stück wurde dann mit der polierten Fläche mittels Kanadabalsam unter ganz gelindem Druck auf den Objektträger gekittet, alsdann mit der Laubsäge ein Schnitt parallel dem Objektträger in 1—2 mm Entfernung von ihm geführt und die so abgetrennte, auf dem Objektträger sitzende Platte in der vorherigen Weise mit der Feile und dem Wetzstein abgeschliffen und geebnet. Eine einigermaßen geschickte Handführung vermeidet vollkommen das Mitanschleifen des Objektträgers und macht eine Übertragung überflüssig, welche zudem fast allemal das Präparat zerstören würde." Vgl. hierüber übrigens auch S. 668—670.

Durch Herstellung von Kollodiumhäutchen, indem man ein oder mehrere Kollodiumtropfen auf die zu untersuchende Fläche fallen läßt, und durch die Untersuchung dieser Häute unter dem Mikroskop, kann man anato-

mische Verhältnisse studieren auch an Objekten, die sonst für das Mikroskop unzugänglich sind, wie an bloßen Abdrücken, z. B. in Kalktuffen, deren organische Einschlüsse vollständig der Verwesung anheimgefallen sind. Die zuerst hergestellte Haut ist zu kassieren, da sie zunächst den Staub wegnimmt. (Vgl. hierzu Buscalioni u. Pollacci in den Atti dell' Istituto botanico dell' Univ. di Pavia 1902 und Nathorst im Arkiv für Botanik 1907.)

Ch. Schuchert gibt folgende Anleitung zum Sammeln fossiler Pflanzen[1]).

Fossile Pflanzen werden selten in vollständigem Zustande gefunden, sondern gewöhnlich nur als Abdrücke in Gesteinen verschiedener Art, besonders in Schiefern. Selten findet man sie lose, ausgewittert und an der Oberfläche liegend, wie es so häufig der Fall bei wirbellosen Tieren ist. Gute Sammlungen fossiler Pflanzen erhält man gewöhnlich nur durch Brechen und Zerkleinern großer Gesteinsmassen. Während die ältesten Pflanzen Bewohner des Salzwassers sind und spärlich zusammen mit mariner Fauna in den älteren paläozoischen Schichten auftreten, findet sich die Mehrzahl der bekannten älteren Pflanzen in Küsten- oder Sumpfablagerungen oder sie sind von höherem Lande in das Wasser geweht oder angeschwemmt und schließlich im Sediment eingebettet. Aus der vorherrschenden Unvollständigkeit fossiler Pflanzen folgt, daß der Wert jeder Art in hohem Maße von der relativen Häufigkeit und Güte der Erhaltung der einzelnen Teile abhängt. Alle Pflanzenreste sind von Wert, besonders die Landpflanzen vordevonischen Alters, und sollten sorgfältig gesammelt werden, wenn sie auch noch so fragmentarisch sind. In den kohlenführenden Schichten finden sich die Pflanzen gewöhnlich in guter Erhaltung in den Schiefern über den Flözen. In den mesozoischen Süßwasserbildungen enthalten die Sandsteine oft zahlreiche, wohlerhaltene Blätter. Wenn fossile Pflanzen häufig sind und die Flora reich ist, so ist es ratsam, große Aufsammlungen zu machen und alle die Stücke zu nehmen, die wichtige oder diagnostisch wertvolle Charaktere zeigen. Es sind das die Spitzen der Blätter, die Blattstiele mit einem daransitzenden, wenn auch kleinen Stücke des Blattes, die gut erhaltene Basis eines Blattes oder ein vollkommener Bestandteil eines solchen. Beim Aufsammeln von Farnen achte man besonders auf solche Stücke, die die Fruktifikation zeigen, und verschmähe selbst die kleinsten Stücke nicht, die im entferntesten eine Tendenz zum Fruchtansatz zeigen. Baumstämme und Hölzer sind immer von Wert. Gegendrucke sollten aufbewahrt und zusammengehalten, aber gesondert eingewickelt werden. Man entferne mit dem Hammer so viel überflüssiges Gestein als möglich, ohne das Stück zu beschädigen, aber nehme nur so viel fort, daß um die Pflanze noch ein 2—3 cm breiter Rand bleibt und spalte die Stücke

[1]) Ch. Schuchert, Dircitions for collecting and preparing fossils. Bulletin of the United States National Museum, Part K. Nr. 3 a, S. 11 u. 12.

nicht so dünn, daß sie Gefahr laufen, während des Transportes zu zerbrechen. Ist ein gutes Stück dabei zertrümmert, so werfe man es nicht weg, sondern behalte alle Stücke, wickle sie gesondert ein und vereinige sie zu einem Bündel. Pflanzenführender Ton ist in großen Stücken zu verpacken und erst im Laboratorium zu präparieren.

Kapitel 87.

Die Gewinnung von Pflanzenresten aus glazialen Ablagerungen.

Prof. A. Nathorst in Stockholm gibt[1]) darüber folgende Anleitung:

Die glazialen Süßwasserablagerungen finden sich in kleinen Becken in der Moränenlandschaft und zeigen den Ort an, wo während der Eiszeit, unmittelbar nach dem Abschmelzen des Eises, kleine Seen vorhanden waren. Auch können sie als Flußablagerungen auftreten; beinahe immer sind sie von jüngeren Ablagerungen bedeckt. Die Reihenfolge der Schichten kann etwas variieren; am häufigsten sind folgende Profile:

Torf

Süßwasserton und Sand

Moräne

oder

Torf

Seekreide (Wiesenkalk)

Süßwasserton und Sand

Moräne

oder

Torf

Faulschlamm

Süßwasserton und Sand

Moräne

oder

Torf

Faulschlamm

Faulschlammkalk

Süßwasserton und Sand

Moräne

---

[1]) Bihang till kgl. Svenska Vetensk. Akad. Hand. 17. III. Nr. 5.

wobei auch einzelne Sandlager zwischen den verschiedenen Lagern vorkommen können. Zuweilen kommt ein Lager reiner „Gytja" im Wiesenkalk vor; auch noch andere Kombinationen als die oben erwähnten lassen sich beobachten, obschon diese die häufigsten sind.

Von den arktischen Pflanzen reicht nur Betula nana zuweilen in den Torf hinauf. Die übrigen finden sich nur im Süßwasserton und Sand, im Wiesenkalk und im Faulschlamm vor. Ihr Vorkommen in den beiden letztgenannten Gesteinsarten ist aber überhaupt nicht häufig, und es muß betont werden, daß viele Wiesenkalke bedeutend jünger sind.

In jenen Fällen, wo die glazialen Süßwasserablagerungen mächtig sind, aber auch bei anderen Gelegenheiten kann man einen unteren Horizont, der durch das häufige Vorkommen von Salix polaris, wohl meistens mit Dryas gemischt, charakterisiert ist, von einem oberen trennen, wo Salix reticulata und Betula nana hinzukommen, während Salix polaris verschwindet.

Die Blätter der fossilen Glazialpflanzen kommen zuweilen vereinzelt im Ton, Sand, Wiesenkalk oder im Faulschlamm vor. Wenn man einige Blätter gefunden hat oder wenn ihre Anwesenheit aus anderen Gründen wahrscheinlich ist, lohnt es sich immer, einige Proben der Ablagerung mitzunehmen, um sie später zu schlämmen. Man wird dabei oftmals erstaunen, einen allem Anschein nach ganz sterilen Ton voll von Pflanzenresten zu finden.

Die Schlämmung der Proben geschieht in der Weise, daß sie entweder sogleich oder nachdem sie trocken sind, in Wasser auf ein Netz von Messingdraht gelegt werden. Die Proben absorbieren dann Wasser, schwellen auf und zerfallen in einen tonigen Brei, welcher durch die Maschen des Netzes rinnt, während die Blätter, Samen, Moose u. s. w. auf dem Netz liegen bleiben. Diese Schlämmung gelingt am besten, wenn der Ton sandig ist; wenn er aber faulschlammhaltig ist, will er gewöhnlich nicht zerfallen, und man muß ihn dann kochen oder mit Kalilauge behandeln, um ihn wenigstens zu erweichen und später zerpflücken zu können. Wenn der Ton kalkhaltig ist, so zerfällt er aber auch in diesem Falle, wenn man ihn mit Salzsäure behandelt; der Brei wird dann auf gewöhnliche Weise geschlämmt. Die Proben von Faulschlamm müssen in Wasser oder wenigstens feucht aufbewahrt werden; sie können nur zerpflückt, nicht aber geschlämmt werden.

Man muß sich bei der Schlämmung sehr davor hüten, daß nicht rezente Pflanzenreste, insbesondere Samen, welche sich an den nassen Ton angeklebt haben, den fossilen beigemischt werden. Die Pflanzenreste werden dann am zweckmäßigsten in Wasser, das mit etwas Alkohol gemischt ist, in Flaschen oder Präparatengläsern aufbewahrt, um später auf andere Weise präpariert zu werden. Dies ist nicht leicht und nach

Nathorsts Erfahrung scheint keine Methode allein ganz zweckmäßig zu sein, sondern es empfiehlt sich am besten, mehrere Präparationsmethoden gleichzeitig zu benutzen. Man kann die Blätter ganz einfach zwischen Löschpapier trocknen und sie dann auf Papier aufkleben. Dies Verfahren empfiehlt sich, wenn man mehrere Blätter derselben Pflanze besitzt, so daß man einige mit der Unterseite, andere mit der Oberseite aufkleben kann, damit der Nervenverlauf von beiden Seiten untersucht werden kann. Die auf solche Weise präparierten Blätter können dann mit einer Mischung von Glyzerin, Alkohol und Wasser („Liquor Hantzschii") durchtränkt werden, damit ihre Oberfläche ein frischeres Aussehen bekommt. Auch kann man die getrockneten Blätter ganz lose in Schachteln oder zwischen Papier liegen lassen; am besten dürfte es jedoch sein, sie in einer ausgehöhlten Einsenkung auf kleinen Pappscheiben aufzukleben. Eine andere Methode besteht darin, daß man die getrockneten Blätter auf Glasplatten festklebt, sie können dann ziemlich gut von beiden Seiten untersucht werden; nach längerer Zeit geschieht es jedoch zuweilen, daß sich die Blätter von der Glasplatte loslösen, und eine noch größere Unannehmlichkeit ist die, daß die Blätter beim Trocknen des Gummis Risse bekommen. Bei dieser Präparationsmethode hat Nathorst gewöhnlich die Glasscheiben, auf welchen die Blätter aufgeklebt sind, in Glasröhren aufbewahrt, welche an beiden Enden offen sind und mit Korkpfropfen verschlossen werden.

C. Schröter in Zürich hat eine andere Methode vorgeschlagen, nämlich die Blätter durch kurzes Eintauchen in schwaches Schultzesches Reagens (Lösung von chlorsaurem Kali in Salpetersäure) etwas zu bleichen, so daß sie durchsichtig werden; nachdem die dabei auftretenden Gasblasen durch Alkohol entfernt sind, werden die Blättchen in Glyzeringelatine nach Art mikroskopischer Präparate eingeschlossen.

Nachdem die Blätter auf erwähnte Weise, oder noch besser durch Salpetersäure allein, gebleicht und mit absolutem Alkohol gewaschen sind, werden sie erst in Xylolalkohol, dann in Xylol gelegt und endlich in Kanadabalsam auf gewöhnliche Weise eingeschlossen.

Die beiden letzten Methoden, die Blätter zu bleichen und nach gewöhnlicher Art der Herstellung mikroskopischer Dauerpräparate zu präparieren, sind in gewisser Hinsicht ganz vorzüglich. Die Blätter werden vollständig geschützt, die Aderung kann in den kleinsten Details studiert werden, die sehr häufigen Blattpilze treten deutlich hervor und können nebst den Blättern selbst unter dem Mikroskop studiert werden. Überdies kann man bei Vorträgen recht gute Kamerabilder von ihnen bekommen. Wenn es sich aber um solche Blätter, wie jene von Salix reticulata handelt, deren retikulierte Aderung charakteristisch ist, oder wenn die Blätter, wie bei Dryas, dick und gewölbt sind, dann gibt ein solches Präparat kein

getreues Bild des Objektes. Dazu kommt noch, daß auf solche Weise präparierte Blätter nicht ihr ursprüngliches Aussehen zeigen, wie sie im Ton auftreten, wo sie meistens schwarz und undurchsichtig sind. Nathorst hält es deshalb für das zweckmäßigste, die Blätter auf verschiedene Weise zu präparieren, damit man sowohl ihr ursprüngliches Aussehen wie ihren anatomischen Bau nach Belieben studieren kann. Auch ist es für geologische Sammlungen lehrreich, einen Teil in ihrer ursprünglichen Lage auf dem Ton zu bewahren, was geschehen kann, wenn man diesen sehr langsam trocknen läßt.

Kapitel 88.

Die pflanzenpaläontologische Untersuchung von Torfmooren.

Im 14. Bande der Geol. Fören. Förhandl. S. 165—175 beschreibt G. Andersson die von ihm ausgebildeten Methoden zur pflanzenpaläontologischen Untersuchung von Torfmooren folgendermaßen: Die Forderungen, die man an die Untersuchungsmethode stellen muß, sind folgende: 1. Sie muß eine absolut sichere Identifizierung mit lebenden Arten gestatten. 2. Die gefundenen Reste müssen so aufbewahrt werden, daß sie ein möglichst treues Bild ihres Aussehens in den Torfmooren geben. 3. Ihr Einsammeln muß so leicht wie möglich vor sich gehen, letzteres nicht nur wegen der oft äußerst beschwerlichen Verhältnisse, unter denen es in der Regel statthaben muß, sondern vor allem deshalb, weil erst in diesem Falle auch Personen, die nicht speziell interessiert sind, vollkommen taugliches Material für eine weitere Bearbeitung zu beschaffen imstande sind. Die Mehrzahl der bisherigen Sammlungen dürfte für ein wissenschaftliches Studium wertlos sein, mag es sich nun darum handeln, die Entstehung des Torfes zu erforschen, oder die Torfmoore vom paläontologischen und pflanzengeographischen Gesichtspunkte aus zu studieren. Der Grund dieses Verhaltens liegt darin, daß die Ulmin- und Huminsäuren oder die chemischen Verbindungen, die dem Torf seinen spezifischen Charakter verleihen, die Eigenschaft haben, beim Eintrocknen molekularen Veränderungen zu unterliegen, denen zufolge sie die Eigenschaft verlieren, aufs neue unter Wasseraufnahme aufzuquellen; nur durch Kochen mit Ammoniak, wobei aber Vorsicht nötig ist, kann man, wie mir Herr J. Stoller mitteilt, dem getrockneten Torf zum Teil seine ursprüngliche Beschaffenheit zurückgeben. Die in der Mikroskopie gewöhnlich angewendeten Schwellmittel genügen nicht. Auch Versuche mit Milchsäure, welche mit großem Vorteil angewendet werden kann, wenn man getrockneten Pflanzenteilen ihr natürliches Aussehen wiedergeben will, haben keine

günstigen Resultate geliefert. Indessen ist diese Eigenschaft des Torfes für die Praxis von großer Bedeutung, da sie es ist, die überhaupt erst die Brenntorfbereitung möglich macht. Wenn man also ein für die weitere Untersuchung taugliches Material erlangen will, so muß man Sorge tragen, daß alles aus Torf, Torfschlamm oder Faulschlamm bestehende Material, vom ersten Augenblick an, in einer Flüssigkeit aufbewahrt oder wenigstens vor dem Austrocknen geschützt wird. Für Sammlungen aus pflanzenführenden Tonen oder aus Sandablagerungen ist dies nicht so notwendig, aber auf jeden Fall wünschenswert, da beim Trocknen häufig ungünstige Gestaltveränderungen vorkommen. Da nach Untersuchungen von F r ü h die Ulmin- und Huminsäuren von Bakterien, Schimmelpilzen, Algen u. s. w. gar nicht angegriffen werden, so kann, besonders in der ersten Zeit nach dem Einsammeln, mit großem Vorteil Wasser als Konservierungsflüssigkeit angewendet werden. Der Verfasser hat jahrelang Blätter und Früchte aus Torf in dem braunen Wasser der Torfgrube liegen gehabt, ohne daß sie durch Organismen verunreinigt wurden.

Die Arbeit beim Studium der Torfmoore zerfällt in die Feldarbeit und die Präparationsarbeit.

1. Die Feldarbeit. Um mit Erfolg diese in den Torfmooren ausführen zu können, sind folgende Gerätschaften erforderlich: ein Spaten, ein Messer mit spitzer Klinge, Präparatröhren, am besten von verschiedener Größe (50×16 und 40×12 mm), einige Opodeldokflaschen, sowie einige Glasgefäße mit weitem Hals. Der Spaten ist ein besonders notwendiges Gerät, denn auch da, wo man Profile findet, muß man die Torfproben aus ihnen herausstechen. Mit großem Vorteil habe ich in den letzten Jahren einen kleinen Stichspaten aus Stahl, etwa 18 cm hoch und 12 cm breit, angewendet. Mit dem Spaten wurden sodann aus offenen Profilen eine Anzahl Torfproben ausgestochen, die die ganze Schichtenfolge des Profils darstellen. Dadurch, daß man diese so gleichförmig wie möglich macht, gewinnt man den Vorteil, durch sorgsames Ausklauben und durch gesonderte Aufbewahrung, z. B. der Samen aus jeder Torfprobe, eine ganz gute, annähernde Vorstellung von der Ab- oder Zunahme der verschiedenen Arten während der Bildung des Torfmoores zu gewinnen. Natürlich müssen, soweit dies möglich ist, mehrere Profile aus demselben Moore in dieser Weise durchgearbeitet werden. Ihr Einsammeln aus einer in solcher Weise gewonnenen und auf einem einigermaßen trockenen Platze niedergelegten Reihe von Torfproben geschieht am besten, indem man sie parallel zur Ablagerung untersucht und von jeder entblößten Fläche mittelst eines spitzen Messers die Früchte abnimmt; die Blätter, die man möglicherweise antrifft, braucht man nicht notwendig für sich zu gewinnen zu suchen, sondern man kann sie mit so viel daranhängendem

Torf oder Faulschlamm mitnehmen, daß sie nicht zerbrechen. In die Proberöhren, unter denen die mit flachem Boden am praktischsten sind, legt man alle kleineren Samen, Früchte, Insektenreste, Blätter u. s. w., die man findet, in die Opodeldokgläser, die den Vorzug der Dicke und Billigkeit haben, bringt man größere Blätter, Zweige und Nüsse, Eicheln u. s. w., für sehr große Blätter, wie von Eiche, Zitterpappel u. a. sind die großen Büchsen bestimmt. Beim Einsammeln in Ton- und Sandablagerungen ist ein gewöhnlicher, feinhaariger Pinsel oft ganz unschätzbar.

Außer einer sorgfältigen Etikettierung ist noch zu beachten, daß alle Gläser und Büchsen vollständig mit Wasser gefüllt werden. Das geschieht am besten dadurch, daß man das Gefäß bis zum Rande füllt und dann den Kork so hineinbringt, daß alle Luft und das überschüssige Wasser entweichen kann. Wird diese einzige Vorsichtsmaßregel beachtet, so kann die Sammlung gerüttelt und geschüttelt werden, ohne daß sie Schaden leidet; wird sie versäumt, so wird durch Hin- und Herschwanken während des Marsches und auf dem Wagen alles empfindlichere Material zerstört. Die in der beschriebenen Art gewonnenen Sammlungen können jahrelang unberührt stehen und doch, wenn die Stunde der Bearbeitung kommt, genau denselben Wert besitzen, als wenn sie im Augenblick vorher gewonnen wären. Jedoch tut man gut, dem Wasser etwa $^1/_5$ des Gesamtvolumens Alkohol hinzuzufügen und die Proben im Dunkeln aufzubewahren, da sich andernfalls leicht Algenkolonien bilden.

2. Präparationsmethoden. Die erste Arbeit, die man mit dem in den Mooren gesammelten Material ausführt, besteht darin, es von den anhängenden Torfpartikeln zu befreien. Das geschieht am besten, indem man alles zusammen auf einen flachen Teller schüttet und so viel Wasser zusetzt, daß es den unteren Tellerrand erreicht. Mit dem Pinsel und einer Präpariernadel wird dann unter Wasser Stück für Stück des festsitzenden Torfes entfernt. Diese Arbeit ist gewiß eine langweilige Geduldsprobe, aber sie muß ausgeführt werden, wenn die Sammlungen näher untersucht werden sollen. Doch kann sie sehr erleichtert werden, wenn man die Torfstücke einige Stunden in verdünnter Kali- oder Natronlauge liegen läßt, die hernach jedoch sorgfältig durch Auswaschen entfernt werden muß. Für mikroskopische Untersuchung auf Pollen u. s. w. ist die Probeentnahme gesondert vorzunehmen, da diese Proben nur mit destilliertem Wasser zusammengebracht werden dürfen. Außerdem ist das Material für solche Untersuchungen stets dem Innern frisch aufgebrochener Stücke zu entnehmen. Die Aufhellung solcher Proben erfolgt durch Wasserstoffsuperoxyd oder nach einer von G. Lagerheim vorgeschlagenen Methode[1]) mit 3prozentiger Oxalsäurelösung. Der Torf wird in einem gläsernen Gefäß mit wenigstens

[1]) Geol. Fören. Förhandl. Bd. 24. Heft 6. S. 407—411.

der doppelten Menge Säure übergossen und an einen hellen Ort, am besten in die Sonne, gestellt. Nach kurzer Zeit ist die dunkle Farbe des Torfs verschwunden. Wünscht man die Entfärbung noch weiter zu treiben, so wird das Material vorher einige Zeit mit einer Lösung von Kaliumpermanganat behandelt, ehe es in die Oxalsäurelösung kommt. Vor dem Bleichen mit Salpetersäure bietet die Oxalsäuremethode den Vorteil, daß die Fossilien nicht angegriffen und keine schädlichen Dämpfe entwickelt werden.

Falls der Torf sich reicher an wohlerhaltenen Pflanzenresten zeigt, lohnt es sich, einige kleinere Stücke mitzunehmen. Durch die eben erwähnte Behandlung mit Natronlauge kann man oft gute Funde von Blättern u. s. w. machen. Legt man ein Torfstück einige Stunden lang in Schultzes Reagens (s. unten), so gelingt es noch besser, Samen, Früchte u. a. zu gewinnen. Derartige Torfstücke können während der Reise zweckmäßig in den in jedem Eisenladen erhältlichen, hermetisch verschließbaren Konservenbüchsen aufbewahrt werden.

Nachdem die makroskopisch untersuchbaren Reste in dieser Weise gereinigt und abgespült sind, müssen sie nicht nur nach ihrer Art, sondern auch nach ihrer übrigen Beschaffenheit verteilt werden. Zweige, Rindenstücke, Nüsse, Holzstückchen, größere Stücke von Gräsern und Halbgräsern können zweckmäßig in hohen Flaschen oder Präparatröhren aufbewahrt werden, die aus grünen, ganz durchsichtigen Glasröhren geblasen sind.

Blätter, Moose, Früchte, z. B. von Betula, Kätzchen, Schuppen von Populus, überhaupt flache Pflanzenteile, werden am besten in Kanadabalsam eingelegt nach der oben ausführlich beschriebenen Methode und wie gewöhnliche mikroskopische Präparate aufbewahrt. Kleinere Samen und Früchte müssen in Präparatröhren aufbewahrt werden; außer den oben angewendeten großen sind oft Röhren von 6 : 37 mm geeignet für ganz kleine Früchte. Indem man einen Streifen aufgewickelten Papiers in die Röhre hineinführt, der beim Ausdehnen die Samen an die Röhrenwand andrückt, erhält man ein Präparat, welches als Demonstrationsmaterial geeignet ist.

So aufbewahrte Reste zerfallen indessen mit der Zeit zu Staub und Herr Dr. J. Stoller empfiehlt deswegen, alle Präparate, soweit überhaupt möglich, in Präparatengläsern, gut verkorkt, aufzubewahren in einer Mischung von ca. $^2/_3$ Wasser und $^1/_3$ Alkohol. Die Präparate können dann jederzeit zur Nachprüfung herausgenommen werden. Da Alkohol die Humussäuren auszieht und sich infolgedessen allmählich dunkel, ja schwarz färbt, muß die Flüssigkeit öfter erneuert werden. Nach 3—4maligem Wechsel im Laufe von 3 Jahren pflegt die Flüssigkeit klar zu bleiben.

Wenn es nicht nötig ist, daß das Objekt öfter aus dem Glase herausgenommen wird, kann folgende Methode besonders empfohlen werden:

das Objekt wird mit destilliertem Wasser abgespült, in eine Präparatröhre gelegt, diese mit ebensolchem Wasser gefüllt, ein Stück Paraffin in die Röhre gelegt und hierauf das Ganze in ein Gefäß mit warmem Wasser gestellt. Dabei schmilzt das Paraffin und dient, nachdem es erhärtet ist, sowohl als Kork wie als Isolierungsmittel.

Wenn die in oben genannter Weise erhaltenen Blätter und Blattstücke für die Untersuchung vollkommen tauglich bleiben sollen, so ist es notwendig, sie zu entfärben. Man kann von vornherein annehmen, daß das Entfärben entweder durch Extraktionsmittel ausgeführt werden kann, oder durch Zuhilfenahme solcher Reagenzien, welche durch Oxydation die schwarzbraunen Pflanzenteile bleichen. Ich habe alle die gewöhnlichen Extraktionsmittel, wie Ammoniak, Kalihydrat u. a. versucht. Diejenigen, welche z. B. die bekannte russische Blätterkohle augenblicklich extrahieren, sind nur sehr wenig im stande, die aus Torfmooren herrührenden Reste zu entfärben. Unter den gewöhnlich angewendeten Bleichmitteln erweist sich Alkalihypochlorit nicht als kräftig genug, es lag daher auf der Hand, Versuche mit dem in der botanischen Mikroskopie schon lange für Mazerationszwecke angewandten Schultzeschen Reagens (einer Lösung von chlorsaurem Kali in Salpetersäure) anzustellen. Für die in Frage stehenden Objekte wurde dieses bereits früher von Schröter[1]) angewendet. In diesem Reagens besitzt der, der sich auf das Studium unserer Torfmoore verlegt, eines seiner besten Hilfsmittel, denn nicht genug damit, daß mit ihm die schwarzbraunen, undurchsichtigen Pflanzenteile aus dem Torf so durchsichtig gemacht werden können, daß Aderung etc. im einzelnen studiert werden kann, ist es auch mit Hilfe dieses Mittels möglich, ein vollkommen zuverlässiges Vergleichsmaterial für die Bestimmung der gefundenen Reste zu beschaffen. Durch mannigfaltige Versuche habe ich nämlich gefunden, daß durch mäßiges Kochen eines rezenten Pflanzenteils in Schultzes Reagens festgestellt werden kann, ob ein solcher in Torf oder Ton erhalten sein kann oder nicht. Löst er sich nach 1 bis 2 Minuten auf, so kann man als ganz wahrscheinlich annehmen, daß er in dem Wasser des Torfmoores ebenso sich verhält; wird er nur gebleicht oder nur in geringem Grade angegriffen, so ist damit ein Fingerzeig gegeben für die Wahrscheinlichkeit, mit welcher man hoffen kann, den in Rede stehenden Pflanzenteil auch subfossil aufzufinden, sowie von welcher Beschaffenheit die Erhaltungsart ist. Selbstverständlich gehört zu dieser, wie zu anderen Arbeiten mehr technischer Natur, ein gewisser Grad von Gewöhnung und Übung.

Aus dem Gesagten kann man erkennen, daß in der Regel nur für verkorkte und verholzte Gewebe Aussicht für die Erhaltung im Torfe vorhanden ist. Die Erfahrung zeigt auch vollkommen, daß es sich so verhält. Daraus

[1]) Die Eiszeit. Zürich 1883. S. 21. Die damit gebleichten und mit Alkohol ausgewaschenen Blätter werden von ihm in Glyzeringelatine eingelegt.

geht hervor, daß alle Teile von Blättern, Früchten, Stämmen u. s. w., deren Zellwände nicht in der genannten Art umgewandelt sind, zerstört sein müssen. Das ist z. B. der Fall mit dem Mesophyll der Blätter — nur Epidermis und Gefäßbündel bleiben zurück —, mit den meisten Haarbildungen u. s. w. Daher besitzen auch oft die Pflanzenteile, welche aus dem Torfe herauspräpariert sind, ein Aussehen, welches ganz bedeutend von demjenigen abweicht, welches sie besaßen, als sie in das Wasser fielen, in welchem die Torfbildung vor sich ging. Den Mazerierungsprozeß, dem diese Pflanzenteile in der Natur unterworfen wurden, kann man nun im Laboratorium in wenigen Minuten nachmachen; es dürfte nicht unwesentlich sein, durch ein paar Beispiele die Bedeutung dieses Vorganges zu beleuchten: Aus dem Geschlechte Salix bleiben z. B. Salix cinerea, S. aurita und S. arbuscula in Form und Konsistenz vollkommen unverändert, während die natürliche Farbe verändert wird, die Aderung vollständig hervortritt u. s. w. S. myrsinites bewahrt bei der gleichen Einwirkung nur die Aderung, und S. lanata und S. lapponum dürften auch von dem geübtesten Weidenkenner schwerlich wiedererkannt werden. Die gesamte Filzbedeckung ist vollständig verschwunden, die Aderung, von der man unter gewöhnlichen Umständen nur das allerwenigste sieht, tritt klar und bestimmt hervor. Als zweites Beispiel kann Saxifraga oppositifolia angeführt werden. Das Charakteristische an dem Blatt dieser Art scheint außer der Form der behaarte Rand zu sein. Unterwirft man nun dieses Blatt der beschriebenen Behandlung, so findet man, daß die Behaarung vollkommen verschwunden, der Rand glatt ist, aber dafür tritt eine sehr charakteristische Aderung des Blattes hervor.

Durch Kochen mit Schultzeschem Reagens können demnach die aus dem Torf stammenden Pflanzenteile durchscheinend gemacht werden, und je nach der Dauer der Einwirkung wird ihnen eine Farbe von Dunkelbraun bis fast zu Gelbweiß verliehen. In der Regel dürfte es zweckmäßig sein, die Reaktion zu beenden, wenn die Pflanzen ungefähr die charakteristische rotbraune Farbe angenommen haben, die sie in den Mooren besitzen, da sie ja bekanntlich erst unter dem Einfluß der Luft sich schwärzen. Eine so starke und gewaltsame Einwirkung wie durch das Schultzesche Reagens ist jedoch sehr oft vollkommen überflüssig. Für die meisten Blätter und Samen erzielt man dasselbe Ergebnis dadurch, daß man die Pflanzenreste je nach ihrer Konsistenz 10 Minuten bis zu einer Stunde oder mehr in roher kalter Salpetersäure liegen läßt[1]). Ist

[1]) Gilt es, kleine, zerbrechliche oder aus irgend einem Grunde wertvollere Präparate einzulegen, so kann die ganze folgende Behandlung auf dem Objektglase erfolgen, doch gehört dazu einige Übung; oft ist es auch vorteilhaft, solche Präparate auf dem Objektglase mit einer Lösung von Kollodium in Alkohol (1 : 5) zu befestigen; das geschieht vorsichtig von der Seite, so daß die Oberfläche des Präparates trocken bleibt. Nach dem Verdunsten des Alkohols verfährt man wie gewöhnlich.

das Bleichen in dieser Weise erfolgt, so wird das Präparat sorgfältig mit Wasser ausgewaschen. Da es infolge der Anfüllung mit Gasblasen oft schwimmt, kann das Auswaschen leicht in der Weise geschehen, daß man mit einem Heber die Flüssigkeit vom Grunde des Gefäßes abhebt und neues Wasser von oben zufließen läßt. Sobald alle Säurereste gehörig entfernt sind, wird das Präparat mit Alkohol behandelt, in welchem man es liegen läßt, bis die Gasblasen verschwunden sind. Sodann wird es mit absolutem Alkohol vollständig vom Wasser befreit. Geschieht diese Entwässerung nicht sorgfältig, so bildet sich in der Folge im Kanadabalsam ein Beschlag rings um das Blatt, welcher äußerlich an Schimmel erinnert, und unter dem Mikroskop sich als aus äußerst kleinen Tropfen bestehend erweist, die im Kanadabalsam liegen und wegen ihrer geringen Lichtbrechung dem bloßen Auge in der genannten Weise erscheinen. Wenn der Alkohol abgeflossen ist, wird das Präparat mit Xylolalkohol oder Toluolalkohol behandelt, den man durch Mischen gleicher Teile von Xylol oder Toluol mit Alkohol erhält[1]). Diese Behandlung kann in der Regel mit Vorteil ausgeführt werden, nachdem das Präparat auf das Objektglas gebracht ist und dürfte auf Grund der Eigenschaften des Xylols, das Präparat zusammenzuziehen, nicht weiter als nötig, d. h. bis zur erfolgenden Durchtränkung, ausgedehnt werden. Nachdem hierauf rasch mit reinem Xylol ausgewaschen und mit Löschpapier leicht getrocknet ist, wird eine ausreichende Menge Kanadabalsam aufgebracht. Die Luftblasen, die oft entstehen und gewöhnlich schwer zu entfernen sind, werden sehr leicht dadurch fortgenommen, daß man einen in Xylol getauchten, spitzigen Glasstab hineinhält. Der angewendete Kanadabalsam muß erhärtet sein und wird am besten in Xylol[2]) gelöst und zwar in solcher Menge, daß das Ganze leicht fließt. Nach dem Auflegen des Deckglases wird das Präparat an einen Ort gelegt, der so warm wie möglich ist, d. h. wo die Temperatur sich dem Erstarrungspunkte des Kanadabalsams ziemlich nähert, ohne ihn zu überschreiten. Nach einigen Tagen ist dieser, wenigstens an den Rändern, so weit erhärtet, daß das Präparat in die Sammlung eingeordnet werden kann[3]).

Die beschriebene Methode ist die einzige bis jetzt bekannte, durch welche die im Torf aufbewahrten Reste von Blättern, Stengeln, Moosen u. s. w. so aufbewahrt werden können, daß sie für eine vollständige makro-

---

[1]) Die in der Mikroskopie angewandte Mischung von 3 Teilen Xylol auf 1 Teil Alkohol ist unzweckmäßig, da sie zu stark kontrahierend wirkt.

[2]) Xylol hat vor dem von Mineralogen und Petrographen gewöhnlich angewendeten Benzin den Vorteil, daß der Balsam nicht sofort erhärtet, sondern die notwendigen Manipulationen mit dem Präparat gestattet.

[3]) Die Erfahrung hat gelehrt, daß Objektgläser von 76 × 26 mm und 100 × 50 mm die geeignetsten sind.

und mikroskopische Untersuchung geeignet sind, ohne irgendwie, oder wenigstens in nennenswertem Grade, in ihrem Aussehen von dem abzuweichen, welches sie besitzen, wenn sie in den Torfmooren liegen. Bisweilen ist die Beschaffenheit der in Mooren erhaltenen Reste eine solche, daß eine sichere Bestimmung nur durch eine anatomische Untersuchung erfolgen kann. Moose, dünnere Blätter, Samenflügel von Kiefern und Fichten u. a. können, wenn sie in obiger Weise eingebettet vorliegen, mit sehr starker Vergrößerung untersucht werden. Von den übrigen Resten, wie Samen, Holzstücken u. a., müssen Schnitte angefertigt werden. Solche können oft nicht durch die bei phyto-histologischen Untersuchungen gewöhnlich angewendete Methode, mit einem Rasiermesser einen Schnitt von dem Objekt herzustellen, angefertigt werden, da sie bei einem derartigen Versuche gewöhnlich in Pulverform zerfallen. Es ist daher notwendig, die bei zoologischen Arbeiten gebräuchliche Methode der Einbettung in Paraffin und des Schneidens mit dem Schlittenmikrotom anzuwenden. Das Objekt wird, wie oben beschrieben, mit Xylol + Alkohol behandelt, worauf die Einbettung vorgenommen wird. Eine bei botanischen Arbeiten äußerst praktische und auch für die in Rede stehenden Untersuchungen zweckmäßige Methode ist von Klercker beschrieben[1]), weshalb ich hier nicht näher darauf einzugehen brauche. Die erhaltenen Schnitte können, wenn nötig, mit Salpetersäure gebleicht werden, worauf sie in gewöhnlicher Weise eingelegt werden.

Diese Mitteilungen Anderssons erhalten noch eine Ergänzung durch eine Notiz in dem gleichen Bande von Geolog. Fören. Förhandl. Seite 506, die in Übersetzung folgendermaßen lautet:

Die Probe, die man untersuchen will, sie mag Torf, Schlamm oder Ton sein, darf nicht ausgetrocknet sein, wenigstens nicht in nennenswertem Maße. Man zerteilt sie in kleinere Stücke, die in gewöhnliche, ungefähr mit dem doppelten Volumen Wasser verdünnte, rohe Salpetersäure gelegt werden. Nachdem sie in dieser Flüssigkeit 1—2 Tage gelegen, haben sie sich so verändert, daß ihre Schlämmung möglich ist. Tone mit und ohne Kalkgehalt sind zerfallen, die sonst so zähen und schwer zu behandelnden Faulschlammproben haben sich in derselben Weise verändert, Torfproben sind teils auseinandergefallen, teils aufgequollen. Durch die genannte Behandlung ist es erst möglich geworden, die zuerst von Nathorst aufgefundene und beschriebene Methode auf diese Substanzen anzuwenden. Durch eine Anzahl von Versuchen hat es sich gezeigt, daß man fast niemals feinere Siebe, als solche mit 1,8 mm Maschenweite anzuwenden und den niedergesunkenen Schlämmungsrückstand nicht zu berücksichtigen braucht.

[1]) Zur Verwendung des Schlittenmikrotoms für phytohistogenetische Zwecke. Biol. För. Förh. Bd. IV. (1891) Nr. 1—2.

Bei der Schlämmung geht gewiß eine große Menge der kleineren Früchte und Samen durch die Maschen des Netzes, aber infolge der Oxydation bei der Behandlung mit Salpetersäure sind sie mit Gasblasen gefüllt, so daß sie schwimmen und an den Rändern des Gefäßes haften, in welchem die Schlämmung vorgenommen wird. Indem man beim Schlämmen diejenigen Ton- und Torfstücke, die nicht von selbst zerfallen sind, vorsichtig mit der Hand zerkleinert, kann man ganz leicht allen Sand, Ton und feineren Torfdetritus fortschaffen. Wenn dann in der Hauptsache nur noch Pflanzenteile, welche ihre Struktur noch beibehalten haben, übrig sind, ist es ganz leicht, Samen, Früchte, Moose und andere Reste, die von Interesse sein können, auszulesen. Diese Arbeit geht am schnellsten und besten von statten, wenn man jede auszulesende Portion so klein nimmt, daß sie mit Leichtigkeit übersehen werden kann. Zweckmäßig ist es auch, von dem im Sieb zurückgebliebenen Material dasjenige abzunehmen, was auf der Oberfläche schwimmt, da es in der Regel aus Samen und Pflanzenresten von Interesse besteht.

Auf diese Weise kann man Material, welches untersucht werden soll, anreichern und daraus eine Menge kleinerer Früchte und anderer Pflanzenteile gewinnen, die man auf andere Weise nur schwer erhalten würde. Hierbei spielt auch die helle Farbe, welche die Pflanzenteile durch diese Behandlung mit Säure erhalten, eine wichtige Rolle. Sollten diese, wie das zum Teil geschieht, nach der ersten Behandlung noch braunschwarz oder dunkelbraun sein, so ist es zweckmäßig, nach der ersten Schlämmung die Masse noch einen Tag in verdünnter Säure stehen zu lassen.

Obwohl es sich immer mehr zeigt, daß Samen und Früchte die besterhaltenen und häufigst vorkommenden und wohl diejenigen Pflanzenreste sind, welche für Untersuchungen über die Bildung des Torfes und die Entwicklungsgeschichte unserer Flora von größter Bedeutung sind, so müssen doch natürlich Blätter und andere Reste, falls sie sich finden, sorgfältig beachtet werden. Durch die oben beschriebene Behandlung werden sie zwar zerbröckelt und zerstört, aber man kann immer erkennen, ob sie in nennenswerter Menge in einer Torfprobe sich finden, weil in solchem Falle eine große Menge von Bruchstücken angetroffen wird. Dann muß natürlich eine besondere Probe in der beschriebenen Weise auf Blätter untersucht werden, oder, falls man nur geringe Mengen von Material hat, muß die Untersuchung vorher mit denselben Proben vorgenommen werden, die später mit Säure behandelt werden sollen.

Kapitel 89.

Die Präparation von Diatomeen.

Die Präparation[1]) der Diatomeen soll das Material für die mikroskopische Beobachtung vorbereiten.

Vier Hauptbedingungen müssen durch das Verfahren erfüllt werden. Es sind nämlich:

1. durch Zerstörung des inneren und äußeren Protoplasmas die Zeichnungen der Kieselpanzer aufzuhellen;

2. anhaftende und beigemengte fremde, organische und unorganische Substanzen zu beseitigen.

3. erforderlichenfalls die Frusteln so weit zu spalten, daß die beiden Hauptplatten vollständig voneinander und von dem sie zusammenhaltenden Ring (Gürtelband) gelöst werden;

4. aus Diatomeengemengen die einzelnen Gattungen und Formen zu isolieren.

Die Präparationsmethoden selbst sind nun kombinierte Verfahren, bei welchen teils chemische, teils mechanische Manipulationen gegenseitig sich ergänzend und fördernd zusammenwirken.

Wenn es gilt, das Protoplasma (Zellinhalt und organische Bestandteile der Zellenwandungen) zu zerstören, so kann dies nur durch chemische Einwirkung geschehen. Dasselbe Verfahren tritt ein, wenn es darauf ankommt, beigemengte fremde Substanzen durch Zerstörung oder Lösung zu beseitigen; wo aber diese den chemischen Einwirkungen widerstehen, muß die Ausscheidung auf mechanischem Wege erfolgen, ebenso wie je nach Umständen die eine oder andere Methode beim Spalten der Frusteln Anwendung finden muß. Nur das Trennen der einzelnen Arten kann unter allen Umständen einzig auf mechanischem Wege erfolgen.

Als zweckmäßigste Zerstörungsmittel für organische Substanzen haben sich erfahrungsmäßig das Kochen in konzentrierter Salpetersäure und Schwefelsäure, unter Umständen auch in sehr schwacher Ätzkalilauge bewährt. Von den mechanischen Hilfsmitteln seien hier nur Schlämmen (Dekantieren) und vor allem die Anwendung einer Siebskala angeführt.

Der Kochprozeß selbst kann entweder in Porzellanschalen, sogenannten Abdampfschalen, oder in Bechergläsern stattfinden. Da die Säuren beim Kochen sehr stark ätzende, äußerst nachteilig auf die Lungen

---

[1]) E. Debes, Das Reinigen und Präparieren von Diatomaceenmaterial. Hedwigia 1885. Heft 2. — J. Pelletan, Les Diatomées. Paris 1888. — J. Rataboul, Les Diatomées, récolte et préparation. Journ. de Microgr. 1883. — Eine Anzahl wertvoller Mitteilungen verdanke ich den Herren Landesgeolog Dr. M. Schmidt in Stuttgart und Prof. Friedrich Fricke in Bremen.

wirkende Dämpfe entwickeln, so kann man offene Schalen in geschlossenen Räumen, sofern man nicht besondere Abzugsvorrichtungen zur Verfügung hat, nicht anwenden.

Zum Schlämmen (Dekantieren) benutzt man teils Bechergläser, teils Standzylinder. Als Hilfsapparat beim Schlämmen empfiehlt sich noch eine Vollpipette mit Gummischlauch zum Abziehen von Flüssigkeiten in solchen Fällen, wo es wünschenswert erscheint, das Schlämmgefäß ruhig stehen zu lassen.

Die Siebe sind teils weitmaschige Drahtsiebe, teils engmaschige Seidengazesiebe[1]).

Um gröbere Bestandteile auszuscheiden, sind die Drahtsiebe vollkommen ausreichend, ja ihrer größeren Haltbarkeit wegen sogar den Gazesieben vorzuziehen. Von ersteren genügt für alle Fälle ein Satz von drei, von letzteren ein solcher von vier bis fünf Nummern, deren feinste (Gaze Nr. 20 des Handels) 78 Fäden auf den Zentimeter und trocken Öffnungen von 0,04 bis 0,05 mm hat, welche sich bei Benutzung in Wasser infolge Aufquellens der Fäden bis auf etwa 0,03 mm verengen, so daß noch sehr kleine Formen in dieser Nummer zurückgehalten werden. Außer dieser reichen die Nummern 18, 16, 13 und 10 (mit je 70, 62, 51 und 43 Fäden auf den Zentimeter) vollständig und in allen Fällen aus. Wie die Siebe gebraucht werden, wird an geeigneter Stelle des näheren auseinandergesetzt werden. Als Regel beachte man aber stets, sie nach dem Gebrauch sorgfältig auszuwaschen, damit bei künftiger Anwendung keine Verunreinigung durch Beimischung fremder und unerwünschter Formen erfolge; auch die Berührung der Gaze durch Ätzkali und Säuren ist zu vermeiden, da sie hierdurch leicht ruiniert werden könnte.

Im allgemeinen kann man vier verschiedene Typen des Vorkommens fossiler Diatomaceen unterscheiden, nämlich:

I. Lockere, magere, mehl- oder pulverförmige bis sandige Erden, mehr oder weniger gemischt mit organischen und unorganischen Substanzen. Ausschließlich diluviale oder rezente Süßwasserbildungen, unter den Bezeichnungen: Infusorienerde, Kieselguhr, Bergmehl u. s. w. bekannt.

---

[1]) Derlei Siebe und Siebringe aus Zinkblech mit und ohne Bezugsmaterial, ebenso wie alle anderen zur Diatomaceenpräparation erforderlichen Utensilien, liefert das mikroskopische Institut von E. Thum in Leipzig, Johannisallee 3, in vorzüglicher Qualität; bei demselben erhält man auch die sehr wohlfeilen, zur vorläufigen Untersuchung im Felde ausgezeichnet bewährten Algensucher mit etwa 100- und 150facher Vergrößerung. Seidengaze in allen Nummern kann man auch von Egli und Sennhauser in Leipzig, Jablonowskistr. 1, jedoch nur in Streifen, die durch die ganze Breite des Stoffes laufen, beziehen. Die Gaze wird mit einem Gummiring über den metallenen Siebring gespannt, so daß sie jederzeit abgenommen und mit einer anderen Nummer vertauscht werden kann. Drahtgewebe müssen eingelötet werden.

II. Zusammengesinterte, jedoch noch zerreibliche, stark poröse Massen. Meist diluviale oder jungtertiäre, jedoch fast ausschließlich marine Bildungen, daher vorwiegend Meeresformen enthaltend.

III. Tonige Massen, dann wohl ausschließlich tertiäre Bildungen mit vielfach jetzt nicht mehr lebend vorkommenden Meeresformen.

IV. Festes Gestein, gleichfalls tertiären oder noch älteren Ursprungs.

A. Die unter den Typus I fallenden Diatomeenerden können meist ganz wie rezente Diatomaceen behandelt werden und machen selbstverständlich am wenigsten Mühe; sie bedürfen im allgemeinen nur eines verhältnismäßig kurzen Kochens (20—40 Minuten) in konzentrierter Salpetersäure, um in der Hauptsache gereinigt zu sein, da diese Zeit in den meisten Fällen ausreichend ist, geringfügige organische Beimengungen vollständig durch Zerstörung zu beseitigen oder so zu verändern, daß ihre Abtrennung auf anderen Wegen, etwa durch Dekantieren, ohne Schwierigkeiten erfolgen kann. Sind es sehr feinschalige Formen (etwa die Gattungen Pleurosigma, zartere Formen von Navicula, Tabellaria u. s. w.), so geht auch der Spaltungsprozeß in derselben Zeit vollständig vor sich. Derbere Formen (etwa die Gattungen Campylodiscus, Surirella, Pinnularia, Eupodiscus u. s. w.) werden wohl je nach der Beschaffenheit des Rohmaterials auch bald rein, spalten jedoch viel schwieriger, und selbst das nachfolgende Kochen mit konzentrierter Schwefelsäure hat nicht immer den gewünschten Erfolg, so daß in solchen Fällen andere Behandlungsweisen Platz greifen müssen, wie an geeigneter Stelle auseinandergesetzt werden wird.

Sehr langes, d. h. mehrstündiges Kochen in starken Säuren, wie es von einzelnen Gelehrten empfohlen worden ist, sollte unter allen Umständen vermieden werden, auch dann, wenn nach etwa halbstündigem Kochen in konzentrierter Salpetersäure und nachfolgender 20minutiger Behandlung in englischer Schwefelsäure das Material nicht vollständig von organischen Beimengungen frei sein sollte, denn es ist als sicher anzunehmen, daß solche Partikel, welche in dieser Zeit nicht zerstört worden sind, auch fernerem Kochen in Schwefelsäure, wenn nicht gänzlich, so doch sehr hartnäckig und lange Zeit widerstehen werden. Nun wird aber das lange Kochen in mineralischen Säuren dem Material insofern nach und nach höchst nachteilig, als nicht sowohl durch die chemische Wirkung des angewandten Stoffes, sondern vielmehr durch die mechanische des Kochens, das heftige Puffen der Dampfblasen, die reibende und stoßende Bewegung der Frusteln unter sich, wie auch an den Wandungen des Gefäßes und etwa beigemengten Gesteinspartikelchen, viel Bruch entsteht und auch die feinen Strukturen leiden.

In derartigen Fällen versuche man es, nachdem das Material durch Auswaschen mit Wasser gut entsäuert wurde, namentlich bei leichten, d. h. kleinen oder feinschaligen Formen, mit Dekantieren, bei gröberen und derberen, schwereren Formen auch mit Durchsieben. Im ersteren Falle bleiben die Formen lange im Wasser suspendiert, die nicht zerstörten Beimengungen sinken in der Regel schneller, und man kann daher durch wiederholtes Abgießen des suspendierten Materials schon sehr befriedigende Resultate erhalten.

Hie und da, namentlich bei Behandlung derberer Formen, tritt freilich auch der umgekehrte Fall ein, insofern die Diatomaceen rascher sinken, als der Schmutz, worauf selbstverständlich zu achten und wonach das Verfahren einzurichten ist.

Kommt man auf diesem Wege nicht zum Ziel, so erreicht man häufig einen guten Erfolg, wenn man das Material in einem feinen Gaze- oder Battistsieb, durch welches es nicht passieren kann, mit den Spitzen eines sehr weichen, möglichst langhaarigen Pinsels mit wenig Wasser äußerst sanft rührt und auf der Gaze reibt, da auf diese Weise noch vorhandene organische Verunreinigungen so weit zerkleinert werden, daß sie bei weiterer Behandlung unter reichlichem Wasserzusatz durch die Maschen des Siebes geschwemmt werden.

Dieses letztere Verfahren hat außerdem noch den Vorteil, daß bisher ungespaltene Frusteln sich dadurch auseinanderlösen, wenn man es lange genug fortsetzt. Selbstverständlich darf man nicht versäumen, in kurzen Intervallen sich durch mikroskopische Untersuchung zu vergewissern, welchen Erfolg die Behandlung hat und ob man zum Nachteil des Materials nicht etwa des Guten zu viel tue. Als goldene Regel aber behalte man im Auge, ebensowohl beim Sieben wie beim Schlämmen nie zu viel Material auf einmal in Behandlung zu nehmen, da dies unter allen Umständen dem Verfahren selbst nachteilig werden muß, und beim Schlämmen mit dem Material nie zu geizen, wenn man dies nicht unbedingt nötig hat; je verschwenderischer man damit umgehen kann, desto reiner und brauchbarer ist das Übrigbleibende. Gerade an dieser Klippe scheitern die meisten Versuche von Anfängern, die nicht ahnen, mit welch geringer Quantität gutgereinigten Materials man Hunderte von tadellosen Präparaten herzustellen im stande ist, die daher jeder beim Schlämmen fortgeschwemmten Form nachlaufen möchten, sich damit die Arbeit erschweren und dennoch häufig kein recht befriedigendes Resultat erreichen.

Sollte auf dem hier demonstrierten Wege hie und da in der Tat kein ganz genügendes Ergebnis gewonnen werden, so läßt sich als letztes Mittel noch folgendes empfehlen, was — freilich mit gehöriger Vorsicht angewandt — auch in den verzweifeltsten Fällen sicher zum Ziele führen wird, wie

D e b e s' und anderer Erfahrungen auf das glänzendste bestätigt haben. Es ist dies die Anwendung einer sehr schwachen, je nach der Derbheit und Widerstandsfähigkeit der in Betracht kommenden Diatomaceenformen $^1/_{10}$—$^1/_2$ prozentigen Kalilauge.

Man setzt zu dem Zweck das vorher gut ausgesüßte Material mit der 50—100fachen Menge der geeigneten, vorher filtrierten Kalilösung in einer Abdampfschale oder einem im Sandbad stehenden Becherglas über eine kleine Spiritusflamme zu gelindem Kochen an. So lange sich die Lauge trübt, so lange löst sich Schmutz und leiden die Frusteln nicht, doch ist es nötig, der Sicherheit wegen fortwährend kleine Proben mit der Pipette zu nehmen und unter dem Mikroskop zu kontrollieren, um den Kochprozeß zu unterbrechen, sobald die Schmutzpartikelchen gelöst sind. Ist dieses geschehen, so muß sofort so lange Salz- oder Salpetersäure zugesetzt werden, bis die Lösung nicht mehr aufbraust, wonach das so behandelte Material gut auszuwässern und mit ihm weiter zu verfahren ist, wie bereits beschrieben. Noch einmal sei aber hierbei dringend die größte Vorsicht anempfohlen, da oft eine Versäumnis von nur wenigen Minuten hinreicht, das ganze Material unbrauchbar werden zu lassen. Anfängern ist daher zu raten, eine möglichst schwache Lauge anzuwenden und das Verfahren lieber ein oder mehrere Male zu wiederholen, bis das gewünschte Resultat erreicht ist.

Einige von D e b e s nicht angeführte Methoden der Reinigung des Rohmaterials finde ich bei P e l l e t a n, Les Diatomées. Paris 1888. S. 109—114.

a) B e h a n d l u n g m i t S c h w e f e l s ä u r e u n d K a l i u m c h l o r a t. Ist das Rohmaterial so reich an organischer Substanz, daß die Behandlung mit kochender Salpetersäure zu seiner Oxydation nicht ausreicht, so empfiehlt H. v a n H e u r c k die Anwendung des chlorsauren Kali in folgender Weise:

Das durch Behandeln mit Salpetersäure von kohlensaurem Kalke befreite und durch Auswaschen wieder entsäuerte Material wird in einer Porzellanschale mit konzentrierter Schwefelsäure bedeckt, langsam bis zum Kochen erhitzt und einige Minuten darin gelassen. Die Substanz ist dann schwarz und kohlig geworden und wird nun in der Weise entfärbt, daß man t r o p f e n w e i s e eine gesättigte Lösung von chlorsaurem Kali in Wasser hinzufügt. Nach Zusatz jedes Tropfens erfolgt ein heftiges Aufbrausen; man rührt dann mit einem Glasstabe gut um, fügt einen neuen Tropfen hinzu und fährt damit fort, bis die Menge der hinzugesetzten Lösung etwa die Hälfte des Volumens der angewendeten Schwefelsäure ausmacht. Die Masse muß dann gänzlich entfärbt sein; enthält sie immer noch organische Substanz, so ist der Prozeß noch einmal zu wiederholen.

F. K i t t o n wendet anstatt der gesättigten Lösung das Salz selbst

in kleinen Stücken an; dieser Methode ist aber wegen der großen Explosionsgefahr zu widerraten.

b) Behandlung mit Kaliumpermanganat und Salzsäure. Diese von Brun[1]) ausgebildete Methode beschreibt der genannte Autor wie folgt: Hat man frische Substanz mit noch feuchten Diatomeen, so gibt man zu denselben eine Lösung von 1 Teil Kaliumpermanganat auf 10 Teile Wasser; zu trockenen Diatomeen (auch zu allen fossilen) fügt man eine kleine Menge gesättigter Lösung desselben Salzes, die sogar einige überschüssige Kristalle enthalten darf. Man läßt unter öfterem Umrühren etwa 12 Stunden in einem Glasgefäße von etwa 100 g Inhalt einwirken, am besten in mäßiger Wärme, füllt dann das Gefäß bis zur Hälfte mit Wasser, gibt dann $\frac{1}{2}$ g gebrannte Magnesia zu, und fügt hierauf von 10 zu 10 Minuten je etwa 1 g reiner Salzsäure hinzu. Man erwärmt während dieses Vorganges auf dem Wasserbade und wäscht dann zu wiederholten Malen mit destilliertem Wasser aus.

Die Wirkung dieser Behandlung beruht auf der Entstehung von Sauerstoff, der energisch oxydierend, und von Chlorgas, welches kräftig bleichend wirkt. Brun erklärt diese Methode für die vollkommenste aller von ihm erprobten Reinigungsarten.

Sind auf diese Weise die organischen Beimengungen beseitigt, liegt das so vorgerichtete Material rein und weiß auf dem Boden des Glases, so würde die nächste Aufgabe die sein, die Diatomaceen noch von den immer vorhandenen größeren oder geringeren Mengen mineralischer Beimengungen zu trennen, die sich durch Schlämmen oder Sieben nicht haben beseitigen lassen. Man nimmt zu dem Zweck ein gewöhnliches, nicht abgeflachtes Uhrglas von 4—5 cm Durchmesser zur Hand, tut einige kleine Pipetten voll von dem Material mit so viel Wasser hinein, daß dasselbe zu $\frac{3}{5}$ gefüllt ist und läßt es so lange stehen, bis sich alles abgesetzt hat. Darauf nimmt man es in die Hand und bewegt es in kleinen kreisförmigen sanften Schwenkungen; in dem hierdurch erzeugten kleinen Wasserwirbel drängen sich die Diatomaceen nach der Mitte, wo sie als kleines weißes Wirbelwölkchen vom Boden aufsteigen. Nun bricht man die Bewegung plötzlich ab, neigt das Uhrschälchen auf die Seite, und sofort fließt das Wölkchen nach dieser hin ab, wo sich nun die ganz reinen Diatomaceen ablagern, während in der Mitte der Schale die schweren Quarzkörnchen und sonstige mineralische Beimengungen in runden Häufchen liegen bleiben. Erstere saugt man durch die Pipette[2]) auf, um sie in geeigneten Röhrengläschen zu deponieren, während man den Rückstand je nach Umständen wegwirft oder, falls es

[1]) Journ. de Micrographie. VI. 1882. S. 457.

[2]) Zu diesem Zwecke brauchbare kleine Pipetten liefert ebenfalls das mikroskopische Institut von E. Thum in Leipzig.

sich um seltenes Material handelt und noch begehrenswerte Formen enthält, ihn zur anderweitigen Behandlung besonders aufbewahrt. Dies Verfahren setzt man so lange fort, bis das gesamte Material vollständig gereinigt ist.

Die so gewonnenen reinen Diatomaceen wäscht man noch ein oder mehrere Male mit destilliertem Wasser aus, und dann sind sie zum Einlegen fertig. Falls man nicht gleich Präparate herstellen will, zieht man das Wasser ab und ersetzt es durch rektifizierten Alkohol, da bei der Aufbewahrung in jenem mit der Zeit Pilzbildungen vor sich gehen, die das Material verunreinigen und somit unbrauchbar machen würden.

Heiden [1]) hat zur Reinigung der in kalkreichem Schlamm (Faulschlammkalk) des Conventersees enthaltenen Diatomeen folgendes Verfahren eingeschlagen:

„Entsprechend der größeren oder geringeren Festigkeit der einzelnen Proben wurden dieselben längere oder kürzere Zeit in kochendem Wasser behandelt, um sie möglichst zum Zerfall zu bringen. Durch Zusatz von Salzsäure führte ich den kohlensauren Kalk in eine im Wasser lösliche Verbindung über und entfernte ihn durch sorgfältiges Auswaschen. Darauf wurde der gröbere Sand durch Behandlung der Proben in Uhrschälchen von 9—10 cm Durchmesser auf mechanischem Wege abgesondert und der Restbestand vom Wasser befreit. Die zurückgebliebenen organischen Bestandteile, Diatomeen und der feinere Sand, wurden in konzentrierter Schwefelsäure gekocht und nach und nach kleine Portionen von Kalisalpeter hinzugefügt bis zur völligen Entfärbung des Gemisches. Handelt es sich um die Oxydation größerer Mengen organischer Rückstände, so ist eine wiederholte Behandlung mit Schwefelsäure und Salpeter notwendig, um nicht in Gefahr zu kommen, daß auch die Diatomeen leiden. Man geize nicht mit der Schwefelsäure, sei aber äußerst sparsam beim Zusatz von Salpeter, denn zuviel von letzterem im Verhältnisse zu der Schwefelsäure rächt sich oft bitter. Nach Abkühlung des Gemisches läßt man an der Wand des Gefäßes vorsichtig Wasser herunterlaufen, bis jegliches Spritzen oder Aufwallen ausbleibt, und gieße dann das Ganze in ein größeres Standgefäß mit Wasser. Nachdem dieses noch bis zum Rande gefüllt ist, überläßt man es 3—4 Stunden völliger Ruhe und gießt alsdann die überstehende Flüssigkeit vom Bodensatz sorgfältig ab. Erneuter Zusatz von Wasser, Ruhepause und Abgießen der überstehenden Flüssigkeit vom Bodensatz wechseln ab, bis die Flüssigkeit nach der gehörigen Ruhepause völlig klar bleibt. Hat man die nötige Vorsicht überall walten lassen, dann behält man als Bodensatz Diatomeen und feineren Sand, den man auf mechanische Weise in Uhrschälchen und zwar zuerst in größeren und dann in kleineren von den

[1]) Mitteil. d. mecklenb. geol. Landesanstalt, 1900, Heft X, Nr. 21, S. 1 u. 2.

Diatomeen trennt, um dann letztere mit gut filtriertem destillierten Wasser wiederholt auszuwaschen, auf Deckgläser zu übertragen und, nachdem das Wasser langsam verdunstet ist und etwaige Verunreinigungen unter dem Mikroskop ausgesucht sind, mit dem Einschlußmedium versehen auf den Objektträger zu bringen. Damit die Diatomeen am Deckgläschen haften bleiben, ist ein Trocknen der Präparate mit nach unten gekehrtem Deckglase durchaus nötig. Als Einschlußmittel verwandte ich Gemische von Kanadabalsam resp. Styresin mit Monobromnaphtalin. Ersteres hat zwar einen kleineren Brechungsexponenten als letzteres, ist aber dafür klarer, während letzteres durch seinen etwas höheren Brechungsexponenten sich für manche Zwecke besser eignet."

Ist das Rohmaterial nicht besonders rein, sondern stark mit unliebsamen Beimengungen vermischt, so muß ein vorbereitendes Verfahren eintreten, da durch direktes Kochen mit Säure unter Umständen noch mehr daran verdorben werden würde. Ist es trocken und stark mit erdigen Bestandteilen gemischt (wie z. B. etwa stark diatomaceenhaltiger Schlamm), so zerbröckelt man es in kleine Stückchen und übergießt es in einem größeren Becherglase bis zum Rand des letzteren mit kaltem Wasser. Zerfällt es in diesem rasch, was namentlich bei mit Salz imprägniertem Materiale der Fall ist, so kann es vorkommen, daß ein großer Teil, wenn nicht alle darin enthaltenen Diatomaceen, soweit sie noch intakt und mit Luft gefüllt sind, an die Oberfläche des Wassers steigen und diese als eine zusammenhängende Schicht bedecken, oder sich an der Wand des Glases am Rand der Wasserfläche festsetzen. Geschieht dies, so gießt man das aufgestiegene Material auf ein Filter ab, ergänzt das Wasser wieder und rührt mit einem Glasstäbchen den auf dem Boden des Glases sitzenden Schlamm wiederholt auf, bis keine Diatomaceen mehr an die Oberfläche kommen. Das auf diese Weise gewonnene Material, welches meist nur aus Diatomaceen ohne erhebliche fremde Beimengungen besteht, wird in kochendem Wasser vom Filter abgeschwemmt, worauf es nach dem unter A beschriebenen Verfahren behandelt werden kann.

Den Rückstand, ebenso Material, welches in kaltem Wasser nicht zerfällt, kocht man in Wasser (eventuell unter Zusatz von etwas Salzsäure) so lange auf, bis sich ein vollständiges Zerfallen konstatieren läßt. Etwa hierbei auf der Oberfläche des Wassers entstehende grüne schaumige Massen sind zu untersuchen und, falls sie Diatomaceen enthalten sollten, auf einem Papierfilter abzugießen, da sich auf diese Weise nicht selten gewisse Arten abtrennen, mit denen gleichfalls nach der oben beschriebenen Methode verfahren werden müßte. Die aufgekochte Masse ist durch Schlämmen zu behandeln, derart, daß man zuerst in größeren, etwa 15—20minutigen, dann in allmählich abnehmenden Intervallen die suspendierten Diato-

maceen abgießt, so lange bis der aus gröberem organischen Schmutz und mineralischen Beimengungen bestehende Rückstand keinerlei beträchtliche Mengen von Diatomaceen mehr enthält, was sich durch kontrollierende Beobachtungen sehr rasch feststellen läßt. Was etwa von solchen noch darin enthalten sein sollte, können nur schwerere, derbere Formen sein, die, wenn ihre Erlangung wünschenswert erscheinen sollte, in vielen Fällen durch Aussieben leicht gewonnen werden können.

Am schwierigsten und mühsamsten von allen rezenten Materialien ist der Meeresschlamm, der sogenannte Schlick, zu behandeln, da er in den meisten Fällen quantitativ sehr unergiebig ist, und doch lohnt kaum ein anderes Material so die Mühe und die Arbeit, wie dieses; wo es auch immer herstammen mag, fast immer enthält es eine Fülle der schönsten und interessantesten Formen.

Da Schlick, wie aller Salzwasserschlamm, beim Einweichen leicht zerfällt, so ist das bereits im vorigen Abschnitt beschriebene Verfahren einzuschlagen, um die etwa aufsteigenden Diatomaceen durch Abgießen auf ein Filter zu gewinnen. Ist das Material vollständig zerfallen, so muß es durch Siebe behandelt werden und man beginnt zunächst damit, die gröberen Bestandteile auszuscheiden. Um die Arbeit des Durchsiebens zu erleichtern, empfiehlt es sich, das gesamte Material in einem Topf 15 Minuten lang in $^1/_2$—$^1/_4$ prozentiger Kalilauge schwach zu kochen, durch Säure zu neutralisieren, gut auszusüßen, und nun erst die Arbeit des Durchsiebens unter Anwendung sehr großer Wassermengen vorzunehmen. Der Zweck derselben ist nun ebensowohl darauf gerichtet, die noch vorhandenen gröberen Partikel, wie den ganz feinen Schmutz zu beseitigen. Daß man hierbei mit den gröberen Siebnummern zu beginnen und nach den feineren hin vorwärts zu gehen hat, braucht wohl nicht besonders auseinandergesetzt zu werden.

Das Sieben selbst geschieht erfahrungsmäßig am besten so, daß man in das Sieb eine mäßige Menge Material auf einmal tut und dasselbe dann in einer nicht zu flachen Schale (Suppenteller oder ähnlichem Gefäß) durch sanftes Auf- und Abwärtsschaukeln so lange bewegt, bis sicher vom Material nichts mehr durch die Maschen abgeht, was man nach einiger Erfahrung sehr rasch erkennen wird. So lange der Rückstand im Siebe bei mikroskopischer Durchmusterung keine Diatomaceen enthält, ist er wegzuwerfen, im anderen Falle das in jeder Siebnummer zurückbleibende Material besonders aufzubewahren. Nach der Behandlung mit dem letzten Gazesieb (Gaze Nr. 20) kann man das durchpassierte Material, welches lediglich aus feinem Schmutz, Sand und Glimmer bestehen wird, weggießen, da es in den meisten Fällen keine Formen mehr enthalten wird. Sollte ausnahmsweise das Gegenteil eintreten, so ist es aufzubewahren und der gleichen Behandlung zu unterziehen, wie die anderen Sätze.

Die Siebarbeit ist eine sehr langwierige und zeitraubende; da aber auf

sie alles ankommt, so versäume man nicht, ganz besondere Sorgfalt darauf zu verwenden.

Das auf diese Weise erlangte Material, welches zur Überraschung des Anfängers der Menge nach außerordentlich reduziert sein wird, koche man nun — jedoch jeden Satz getrennt — in Salpeter-, danach in Schwefelsäure und, falls sich nach dem Auswaschen noch braune, amorphe Flocken und Partikelchen zeigen sollten, in Kalilauge, ganz wie bereits beschrieben worden ist, bis es nach dem Auswaschen weiß auf dem Boden des Dekantiergefäßes liegt.

Das getrennte Kochen der verschiedenen Sätze empfiehlt sich deshalb, weil die größeren und derberen Formen mit den gröberen Schmutzteilen gemischt sind und daher eine energischere Behandlung durchzumachen und auszuhalten haben, als die feineren und weniger widerstandsfähigen, welche dabei zu Grunde gehen würden.

Beim Durchmustern einer Probe des so weit präparierten Materials mittels des Mikroskops wird man finden, daß die Masse noch stark mit mineralischen Bestandteilen gemengt ist, unter denen sehr feine, kleine Glimmerblättchen bei weitem vorherrschen, und man wird ferner die Erfahrung machen können, daß das oben beschriebene Abtrennungsverfahren mittels Uhrgläschen hier seinen Zweck nur unvollkommen erfüllt, da die äußerst dünnen Glimmerblättchen zwischen den Diatomaceen flottieren und deshalb nicht abzuscheiden sind. Hier läßt sich nun mit vollkommenem Erfolg ein Verfahren anwenden, welches von seiten der Mineralogen bei petrographischen Untersuchungen bereits vor längerer Zeit mit dem größten Nutzen in Gebrauch genommen wurde: die Anwendung der Thouletschen Lösung (siehe S. 573).

Man tut zu dem Zwecke in einen kleinen Standzylinder von etwa 1,5 cm Öffnung und 7 cm Höhe eine Menge des in Frage kommenden Materials, jedoch nicht mehr als eine Schicht von 1 cm Höhe und zieht alles überstehende Wasser mit der Pipette ab.

Die Lösung muß man bereits vorher durch Wasserzusatz auf die geeignete Schwere (etwa 2,3) gebracht haben, was sich leicht dadurch kontrollieren läßt, daß ein Stückchen Glimmer (spezifisches Gewicht nahezu 3) auf dem Boden des Glases liegen bleibt, bezw. rasch auf diesen sinkt, während ein Stückchen Alkaliglas (spezifisches Gewicht 2,4—2,6) in der Lösung durch geringe schwankende Bewegung zum Flottieren gebracht werden kann, bezw. in ersterer nur langsam untersinkt.

Mit der so vorbereiteten Lösung füllt man nun den Zylinder bis zum Rand und läßt ihn so lange bedeckt und vor Staub geschützt ruhig stehen, bis eine sichtliche Scheidung der Diatomaceen vom Glimmer und den übrigen Mineralien eingetreten ist, was man leicht daran erkennt, daß eine weiße Schicht die Flüssigkeit rahmartig bedeckt und ein deutlicher Bodensatz

sich abgeschieden hat, während die dazwischen stehende Flüssigkeit vollständig klar erscheint. Um die Trennung nach Möglichkeit vollständig zu machen, tut man gut, das Gläschen wiederholt durch leichte Schläge mit der Fingerspitze zu erschüttern, wodurch manche durch zufälliges Haften an Diatomaceen mit in die Höhe gezogene Glimmerpartikelchen noch niederfallen.

Das schwimmende Material, welches aus reinen Diatomaceen (gelegentlich gemischt mit Radiolarien und Nadeln von Kieselspongien) bestehen wird, zieht man mit der Pipette ab (was etwa am Rand des Glases haften bleibt, kann mit einem weichen Pinselchen abgestrichen werden), um es in einem anderen Glaszylinder durch Wasserzusatz zu fällen und durch destilliertes Wasser auszuwaschen. Etwa während des letzten Verfahrens sich ausscheidende rote Kriställchen von Quecksilberjodid lösen sich rasch und vollständig bei einem Zusatz von wenigen Tropfen Jodkaliumlösung, die man deshalb zweckmäßig immer vorrätig hält.

Die verdünnte und ausgewaschene Lösung verwahre man in ökonomischer Weise, da man sie durch Verdampfen im Wasserbad leicht wieder konzentrieren kann; desgleichen wasche man die Lösung aus gebrauchten Filtern sorgfältig wieder aus, da sie doch immerhin ziemlich kostspielig ist.

Die Thouletsche Lösung ist stark giftig und wirkt namentlich stark ätzend auf die Schleimhäute, es sei daher hier ernstlich zur Vorsicht bei ihrer Anwendung gemahnt.

B. Bei der Behandlung von Proben vom Typus II gilt es, zuerst die Massen in einer Weise zu zerkleinern, daß die darin enthaltenen Formen in der Hauptsache freigelegt werden, ohne selbst darunter zu leiden. Wird dieses Pulverisieren nämlich durch Stoßen in einem Mörser, durch Abkratzen mit einem Messer, durch Bürsten oder auf andere mechanische Weise bewirkt, so werden die zarten Kieselschalen selbst mit gefährdet, und man wird wenig Freude am gewonnenen Resultat erleben. Harting[1]) hat nun ein Mittel empfohlen, welches allen Ansprüchen in ausgezeichneter Weise genügt. Man löst nämlich kristallisiertes schwefelsaures Natron (Glaubersalz) in sehr wenig Wasser bei einer Temperatur von 35—40° C. und übergießt mit dieser möglichst konzentrierten Lösung das zu zerkleinernde Mineral derart, daß es gänzlich von der Flüssigkeit durchtränkt wird. Gleich nach sehr raschem Erkalten geht die Kristallisation des Salzes von neuem vor sich, wobei das Material durch die mechanische Wirkung der Kristallbildung sichtlich und in auffälliger Weise zum Zerfallen gebracht wird. Es ist genau die Wirkung, wie sie der Frost durch Gefrieren des Wassers hervorzubringen pflegt.

---

1) Harting, Das Mikroskop. Deutsche Ausgabe von Theile. 2. Aufl. Bd. II. S. 101.

Um das Verfahren nach Bedarf zu wiederholen, braucht man das Gefäß nur gelinde über Wasserdampf oder im Wasserbade zu erwärmen. Das Glaubersalz schmilzt dann in seinem eigenen Kristallwasser und kristallisiert beim Erkalten von neuem, jedesmal den Zerfall des Materials weiter fördernd. Falls nach längerem Stehen eine Kalzination des Salzes eingetreten sein sollte, ist ein geringer Wasserzusatz erforderlich.

Bei manchen weniger widerstandsfähigen Materialien reicht eine mehrmalige Wiederholung des Verfahrens vollständig zur genügenden Zerkleinerung aus; bei anderen muß der Prozeß öfters wiederholt werden, bevor das gewünschte Resultat erreicht wird.

Ist man so weit, so wird das Material vor allem gut mit Wasser ausgewaschen. Sollte es kalkhaltig sein, so wird es mit Salpeter- oder Salzsäure übergossen und gegebenen Falls darin, jedoch nur ganz kurze Zeit, gekocht. Längeres Kochen in Säuren ist durchaus zu vermeiden, da es nichts nützen, wohl aber, da die fossilen Diatomaceen ohnedies häufig morsch und sehr zerbrechlich sind, den Formen sehr nachteilig werden kann.

Das so vorbereitete Material wird nun der schon früher beschriebenen Behandlung mit Kalilauge unterzogen, dann gesiebt und geschlämmt, schließlich im Uhrschälchen behandelt und, wenn nötig, durch die Thouletsche Lösung von etwaigen Glimmerbeimengungen befreit.

C. Tonige Massen des Typus III werden zunächst, wenn sie nicht von selbst im Wasser vollständig zerfallen sollten, unter Zuhilfenahme des Glaubersalzverfahrens zerkleinert und dann so weit im Wasser, eventuell unter Anwendung von Kochen, aufgeweicht, daß sie sich schlämmen und sieben lassen. Das weitere Verfahren ist dasselbe, welches bei der Behandlung des Schlicks auseinandergesetzt ist. Was von der quantitativen Unergiebigkeit des letzteren gesagt worden ist, gilt in noch weit höherem Maße auch meistens von diesen.

D. Von festen Gesteinen des Typus IV sind nur solche einer Präparation fähig, bei denen das Diatomaceen enthaltende Medium vorwiegend oder ganz aus kohlensaurem Kalk besteht, wie dies z. B. bei den Zementsteinen von Mors und Führ der Fall ist. Man übergießt solche mit Salz- oder Salpetersäure und läßt sie so lange ruhig stehen, bis sich aller kohlensaure Kalk gelöst, d. h. bis die Kohlensäureentwicklung ihr Ende erreicht hat. Bei manchem Material bleibt bereits nach diesem Verfahren ein ganz reiner Diatomaceenrückstand, der bloß mit Wasser ausgewaschen zu werden braucht, um für das Einlegen fertig und verwendbar zu sein; meistens ist jedoch noch eine fernere Behandlung durch Kochen in Säure, bezüglich in Kalilauge, sowie darauffolgendes Schlämmen notwendig, bevor das Material den gewünschten Grad von Reinheit erlangt hat. Unlösliches diatomaceen-

haltiges Gestein kann nur durch Herstellung von Dünnschliffen für die mikroskopische Beobachtung brauchbar gemacht werden.

Das Spalten der Frusteln wurde schon beiläufig besprochen. Die Zahl der Formen, welche auch aus dem Kochprozeß mit Schwefelsäure ungespalten hervorgeht, ist eine sehr große; der Fall tritt daher außerordentlich häufig ein, daß zu dem schon erwähnten Hilfsmittel des Reibens mit einem recht langhaarigen Aquarellpinsel gegriffen werden muß. Mit der nötigen Behutsamkeit angewandt, liefert dies Verfahren ein unfehlbar sicheres Resultat und kann daher unbedingt empfohlen werden.

Jedoch müssen gewisse Formen, deren natürliche Gestalt durch das Spalten ganz und gar verloren gehen würde, von dieser Behandlung wenigstens teilweise ausgenommen werden; es sind diejenigen Gattungen, die keine ebenen Hauptplatten besitzen, wie Biddulphia, Amphitetras, Cerataulus, Isthmia u. a. Eine vielfach von Debes beobachtete Tatsache ist es auch, daß in Säure behandelte, sonst schwer spaltbare Formen, in reinem Wasser aufbewahrt, nach längerem, hin und wieder jahrelangem Stehen sich vollständig auseinanderlösen. Ein leichtes Nachkochen in Säuren und Schlämmen genügt dann, das Material fertig zum Einlegen zu bekommen.

Das Trennen und Absondern verschiedener Formen voneinander und aus Diatomaceengemengen auf mechanischem Wege ist nicht immer eine leichte, ja ab und zu eine unlösbare Aufgabe; auch hier hängt der Erfolg meistens von Erfahrung und Handfertigkeit ab.

Um Formen verschiedener Größe voneinander zu scheiden, wird immer wieder zum Mittel des Aussiebens, wie es bereits beschrieben wurde, gegriffen werden müssen. Man wählt dann eine Siebnummer, welche die kleinere Form durchpassieren läßt, die größere zurückhält.

Sind gleich große oder nahezu gleich große Formen gemischt, so gestaltet sich die Lage schwieriger. Hin und wieder läßt sich durch Dekantieren etwas erreichen, nämlich dann, wenn die in Betracht kommenden Formen bei gleicher Größe verschieden schwer sind, was von der Differenz in der Dicke der Schalen abhängt. Vor der Präparation gelingt es oft noch besser als nach ihr[1]). Wie bereits erwähnt wurde, steigen aus trocken eingeweichtem Material häufig Diatomaceen an die Oberfläche des Wassers; ab und zu geschieht dies bloß von einer einzelnen Art eines Gemenges.

Auf die häufig entstehenden schaumigen Massen beim Aufkochen rezenten Materials und auf den Umstand, daß sie nicht selten das Resultat freiwilliger Absonderung einzelner Arten sind, wurde bereits aufmerksam gemacht.

---

[1]) Manche Arten lassen sich namentlich im lebenden Zustande — in sogenannten Kulturen — bequem und sicher isolieren.

Bei gekochtem Material kann man während des Präparierens häufig beobachten, daß gewisse Formen außerordentlich fest am Uhrglas haften und nur unter Anwendung des Pinsels davon zu trennen sind. Auch dies gibt einen Fingerzeig für ein sehr einfaches Abtrennungsverfahren.

Manche Formen haften angetrocknet sehr fest auf Glasflächen, andere weniger; ja manche in so geringem Grade, daß sie sich wegblasen lassen. Zu diesen letzteren zählen namentlich die stark gebogenen Formen, welche nicht mit einer Fläche aufliegen, sondern nur mit einzelnen Punkten an der Glasfläche haften, wie Campylodiscus, Biddulphia, Ceratau lus u. a.; die Lehre daraus ergibt sich von selbst. In solchen Fällen kann man namentlich durch Streichen mit den feinen Spitzen eines trockenen Aquarellpinsels die locker sitzenden Schalen leicht abstreichen, ohne die festhaftenden Formen zu verletzen.

Als Einschlußmittel für die Diatomeen bei der Anfertigung von Dauerpräparaten empfiehlt Debes als die beiden besten die Harze Styrax und Liquidambar mit einem Brechungsindex von etwa 1,63, Fr. Fricke Styrax, M. Schmidt Styresin.

Letzteres gibt nach M. Schmidt ausgezeichnet klare, relativ leicht lösbare Strukturbilder und übertrifft daher in der optischen Wirkung den Kanadabalsam um ein beträchtliches; dabei ist es so leicht und sicher zu behandeln wie dieser, trocknet rasch bis zu genügender Festigkeit aus und ist auch viel weniger spröde, so daß ein Entstehen von irisierenden Stellen oder Abspringen des Deckgläschens, auch ohne Befestigung des letzteren durch Lackring, niemals zu befürchten steht[1]).

Das ziemlich dünnflüssig angewendete Einschlußmittel kann man in Gläschen mit eingeschliffener Pipette, letztere oben durch Gummihütchen abgeschlossen, wie solche von E. Thum und W. P. Stender in Leipzig zu beziehen sind, aufbewahren. Dieselben vereinigen den Vorteil eines staub- und luftdichten Verschlusses mit der Bequemlichkeit eines sicheren Tropfapparates und sind daher allen anderen Vorrichtungen vorzuziehen.

Hervorragend schöne Bilder gibt ferner Monobromnaphthalin mit dem Brechungsindex 1,658. Da es flüssig bleibt, bedarf es eines Schutzringes, der mit dem Deckglas eine gut schließende Zelle bildet (siehe unten). Ein Übelstand ist allerdings, daß es sich gelegentlich ohne erkennbare Ursache im Präparat später zersetzt und trübt.

Das Auftragen der Diatomaceen, soweit es sich um sogenannte Massenpräparate handelt, bei welchen die Diatomaceen nicht in beschränkter Anzahl, sondern in Menge unter einem Deckglas zur Präparation gelangen, geschieht nun folgendermaßen:

Mit einer Pipette hebt man durch Aufsaugen von dem nach dem früher

---

[1]) Zu beziehen von E. Thum.

beschriebenen Verfahren gut gereinigten, in einem Röhrengläschen unter Alkohol aufbewahrten Material eine kleine Quantität heraus, läßt sie in ein anderes gut gesäubertes Gläschen gleicher Art tropfen und füllt destilliertes Wasser darüber, welches man, sobald sich die Diatomaceen vollständig gesetzt haben, mit Hilfe der Pipette wiederholt erneuert, bis jede Spur von Alkohol ausgewaschen ist. Schließlich wird noch einmal destilliertes Wasser aufgefüllt, bis das Gläschen nahezu voll ist.

Die vorher gut gereinigten Deckgläschen, auf welche das Material aufgetragen werden soll, werden auf einer größeren, womöglich schwarzen oder auf dunkler Unterlage liegenden Glasplatte oder glatten Hartgummiplatte oder auf einer mit schwarzem Wachstuch überzogenen Spiegelglasplatte in der Weise befestigt, daß man die Platte anhaucht und jene auf die so leicht befeuchtete Platte andrückt, auf welcher sie lange Zeit infolge Adhäsion haften bleiben.

Jetzt wird der Inhalt des Röhrengläschens leicht geschüttelt oder mit Hilfe der Pipette[1]) erregt, bis das Material gut verteilt im Wasser flottiert. Von dieser diatomaceenhaltigen, etwas milchigen Flüssigkeit bringt man nun vermittels der Pipette einen oder mehrere Tropfen je auf ein Deckgläschen, indem man sie leicht darauffallen läßt, wobei man zu beachten hat, daß die Flüssigkeit die ganze Fläche des Gläschens bis zum Rand vollständig und halblinsenförmig ausfüllt. Die in der Flüssigkeit gleichmäßig verteilten Diatomaceen werden sich nun auch gleichmäßig niederschlagen und regelmäßig auf den Gläschen verteilen, sofern man diese keiner Erschütterung aussetzt. Sind letztere alle mit Flüssigkeit versehen, so bedeckt man sie zur Abhaltung staubiger Verunreinigungen mit einer Glasglocke oder einem ähnlichen Schutz und läßt sie unter dieser unter Anwendung von Hitze langsam, am besten an Ort und Stelle trocknen, da das Material umso gleichmäßiger verteilt bleibt, je ruhiger und ungestörter man es antrocknen läßt. Fr. F r i c k e verfährt nach freundlicher brieflicher Mitteilung folgendermaßen: „Abends, wenn Ruhe herrscht, lege ich das mit Wachstuch überzogene Glas auf eine Fensterbank mit den Deckgläschen darauf. Nachdem ich die Deckgläschen mittels des Stechhebers mit Material beschickt habe, stülpe ich eine Glasglocke darüber, so daß sie mit zwei gegenüberliegenden Randstellen auf zwei dünnen Objektträgern aufliegt. Am nächsten Morgen finde ich die Deckgläschen völlig abgetrocknet vor. Früher habe ich auch durch Anwendung von Hitze das Wasser zum Verdunsten gebracht; aber trotz der größten Vorsicht kommt es dabei doch gelegentlich vor, daß die Diatomeen sich in Wellen, Wolken oder Streifen zusammenschieben. Es ist das bei mir nicht mehr

[1]) Als Pipette empfiehlt Fr. F r i c k e mir brieflich nur ein von oben bis unten gleich weites Glasrohr, welches nach Gebrauch dadurch gereinigt wird, daß man einen Baumwollpfropfen mit einer Stricknadel hindurchtreibt.

passiert, seit ich wie angegeben verfahre. Dann bringe ich die Deckgläschen höchstens zu 4—6 Stück auf ein Kupferblech, bedecke sie (bei 15 mm Deckgläschen) mit zwei Tropfen Styrax und erwärme ziemlich stark, bis sich Dampf entwickelt. Die abgekühlten Deckgläschen bringe ich auf die Objektträger und erwärme vorsichtig so, daß der Styrax bis zum Rande gleichmäßig ausläuft, aber nicht weiter. Als eventuellen Lackring benutze ich ein Gemisch von Schellack und Ruß. Der Lack hält sehr gut und ist gegen Zedernholzöl unempfindlich."

Sind die Deckgläschen vollständig trocken, so nimmt man sie mit Hilfe der Pinzette von der Glasplatte ab — sollten sie zu fest daran haften, so kann man sie durch mäßiges Erwärmen der letzteren oder durch Unterschieben einer dünnen Messerklinge leicht lockern —, und sieht sie auf einem Objektträger unter dem Präpariermikroskop auf gröbere Verunreinigungen (nachträglich darauf geflogene Fasern u. dgl.) durch, um sie dann wieder unter die Glasglocke zu legen. Hierauf gibt man einen Tropfen der Einschlußlösung darauf, der sich über das Gläschen flach linsenförmig bis zum Rand verteilen wird, und überläßt diesen abermals der allmählichen Verdunstung unter der Glasglocke, bis die Lösung zur Konsistenz des zähflüssigsten Sirups eingedickt ist, worauf man das Deckgläschen mit einer Pinzette an der Seite faßt und auf den vorher sorgfältigst gereinigten Objektträger auflegt, jedoch ohne dasselbe anzudrücken. Eine ganz geringe vorsichtige Erwärmung des ersteren bewirkt dann die gleichmäßige Verteilung des Einschlußharzes bis zum Rand des Deckglases und den Austritt etwaiger Luftblasen.

Die so hergestellten Präparate hebt man bis zum völligen Austrocknen des Einschlußmittels und der damit erfolgenden Befestigung des Deckglases am besten in horizontaler Lage, mit nach unten gekehrtem Deckglas auf, damit etwa abgelöste Formen sich in dem noch plastischen Medium wieder durch ihr eigenes Gewicht auf jenes, also in denselben optischen Horizont, lagern können.

Sollen die Diatomaceen trocken, also eigentlich mit Lufteinschluß eingelegt werden, so muß der Objektträger vorher mit einer Lackzelle in Gestalt eines Ringes von der Größe des Deckgläschens versehen werden, welchen man mit Hilfe des Drehtisches herstellt. Es empfiehlt sich am meisten hierzu eine konsistente, alkoholische Schellacklösung; auch in Chloroform oder Äther gelöster Kanadabalsam, wie eine Lösung von gutem syrischen Asphalt in Terpentin, mit ein wenig Wachs oder Paraffin versetzt, um das Sprödewerden oder Abspringen zu verhindern, können angewandt werden.

Zu beachten ist, daß die Ringe gut ausgetrocknet sein müssen, damit sich später, nach Verschluß der Zelle, keine Ausdünstungen entwickeln, durch welche das Präparat leicht verdorben werden könnte.

Man legt nun das Deckgläschen mit dem Diatomaceenmaterial mittelst der Pinzette konzentrisch auf den Ring und fährt dann mit einem heißen Glas- oder Metallstäbchen sanft und vorsichtig über den Rand des ersteren, bis die hindurchdringende Wärme die Oberfläche des Ringes so weit schmilzt, daß die Deckplatte angekittet wird, was man leicht durch den Augenschein erkennt; doch ist sorgfältig darauf zu achten, daß keine offene Stelle bleibt, durch welche später der Abschlußlack eindringen und das Präparat verderben könnte. Als letzterer ist der K a i s e r sche Maskenlack zu empfehlen.

Für den Einschluß in Monobromnaphthalin wird ein Schutzring aus sirupdickem Kanadabalsam hergestellt, der mit einer Deckschicht von Gold Size überzogen wird, vor allem wegen der Löslichkeit des Balsams in dem zur homogenen Immersion verwandten Zedernholzöl.

Will man aus einem Gemenge von Diatomeen eine oder mehrere bestimmte Arten aussuchen und zu einem Präparate vereinen, so verfährt man folgendermaßen: Zunächst wird das Material, welches die auszusuchenden Formen enthält, auf größere Deckgläser (12—18 mm) ganz in der oben beschriebenen Weise aufgetragen und nach dem Eintrocknen gut vor Staub geschützt aufbewahrt. Falls die gewünschten Formen nur sehr spärlich in dem bezüglichen Material vorkommen sollten, tut man gut, erst eine Anzahl solcher Platten unter dem Präpariermikroskop abzusuchen und die gefundenen Formen auf einem zweiten Deckglas zu sammeln, bevor man sie legt.

Man befestigt am einfachsten beide Deckgläser — das abzusuchende *A* mit dem gefundenen Material und das leere *B* zum Ansammeln der Formen — auf einem Objektträger dicht nebeneinander, indem man ersteren anhaucht und die Gläschen leicht andrückt, so daß sie durch Adhäsion haften. Das Aussuchen selbst geschieht, wie alle darauffolgenden Manipulationen, unter Anwendung schwächerer und mittlerer Vergrößerungen (30—60fach).

Fassen und Übertragen der Diatomaceen bewerkstelligt man mit einem 15—20 cm langen, dünnen Stäbchen, an dessen einem etwas zugespitzten Ende eine sehr spitze Borste befestigt ist. Am geeignetsten hierzu sind die Augenwimpern des Schweines oder die Borsten vom Vorderteil des Igels, weil dieselben einerseits steif und elastisch, anderseits mit sehr fein auslaufenden Spitzen versehen sind. Da unter beiden die verschiedensten Stärkegrade vorkommen, kann man sich, je nach Bedürfnis, die geeigneten Nummern aussuchen, denn es ist zweckmäßig, mehrere solcher Stäbchen mit Borsten verschiedener Stärke und Spitze zur Verfügung zu haben. Auch kann man zum Auslesen sich eines Roßhaares bedienen, welches mit feinem Schmirgel auf einer Glasplatte so weit spitz geschliffen wird, daß es unter dem Mikroskope eine scharfe Spitze besitzt, oder eines Haares aus einer viel gebrauchten Kleiderbürste. Die Borsten befestigt man, in-

dem man die Spitze des Stabes spaltet, erstere einläßt und mit Leim oder Schellack einkittet, oder man nimmt an der Spitze platt geschlagene Drahtstücke, deren flache Enden an zwei Stellen durchbohrt und dann, wie die Figur 340 angibt, gebogen werden. Durch diese beiden Löcher wird die Borste hindurchgesteckt und mit Leim befestigt. Das Ganze wird in einen Crayon gesteckt. Diese Vorrichtung ist äußerst bequem und gestattet ein leichtes Erneuern der Bürste. (Briefliche Mitteilungen von Fr. Fricke.)

Fig. 340.



Die auf Platte *A* aufliegenden Formen haften bei der geringsten Berührung an der Spitze der Borste und können so leicht auf *B* übertragen werden, wo man sie wieder an der Oberfläche abstreicht. Sehr erleichtert wird der mühselige Prozeß des Aussuchens durch eine Pendel- oder Schlittenvorrichtung, die nach dem Aufheben einer Form das Gläschen *B* an die Stelle von *A* bringt und nach dem Niederlegen das alte Verhältnis wiederherstellt. Es empfiehlt sich, die Schalen auf der Sammelplatte *B*, der leichteren Übersichtlichkeit wegen, nahe zusammen und womöglich so zu legen, wie sie gebraucht werden, also z. B. Eupodiscus und ähnliche gewölbte Formen mit der konvexen Seite nach unten.

Die weitere äußerst mühevolle Behandlung dieser ausgelesenen Diatomaceen bis zur Fertigstellung des Präparates kann hier nicht beschrieben werden, und es muß auf die Originalabhandlungen umsomehr verwiesen werden, als fast jeder, der so weit kommt, sich seine eigenen Methoden und Kunstgriffe ausbildet.

Kapitel 90.

Gewinnung kleiner organischer Reste aus quartären Ablagerungen.

Eine zusammenfassende Darstellung der hierfür in Betracht kommenden Methoden hat H. Munthe gegeben[1]). Ich lasse sie hier in Übersetzung folgen.

Die organischen Reste, die in größerer oder geringerer Menge in den Quartärablagerungen sich finden, können nach ihrer verschiedenen Widerstandsfähigkeit gegen Säuren u. s. w. in folgende drei Gruppen geteilt werden: 1. Solche, die aus kohlensaurem Kalke resp. Magnesia bestehen und darum in Salzsäure und einem Gemenge von Schwefelsäure + Salpeter (s. u.) gelöst werden können. Hierhin gehören die Schalen oder Skeletteile von Mollusken, Krustazeen, Bryozoen, Brachiopoden, Röhrenwürmern, Echinodermen, Kalkkorallen, Kalkschwämmen und Rhizopoden, sowie Kalkalgen.

[1]) Geol. Fören. Förhandl. Stockholm 1894. XVI. S. 17.

2. Solche, die aus Chitin, Zellulose und ähnlichem bestehen und deshalb nicht in verdünnter Salzsäure, wohl aber in konzentrierter Schwefelsäure + Salpeter gelöst werden können. Hierhin gehören unter anderen die Epidermis von Molluskenschalen, die Körperbedeckungen vieler Gliedertiere, die Statoblasten von Rhizopoden sowie Pflanzenreste. 3. Solche, die aus Kieselsäure bestehen und demnach weder von Salzsäure noch von Schwefelsäure + Salpetersäure angegriffen werden. Hierhin gehören besonders Diatomaceen, Radiolarien und Kieselschwämme. Indem man nun das verschiedene Verhalten der Fossilien gegen die oben genannten Reagenzien und einige unten angeführte Umstände berücksichtigt, kann man aus einer und derselben Probe alles gewinnen, was für die paläontologische Untersuchung von Interesse sein kann, und außerdem Material für eine chemische Untersuchung, falls eine solche wünschenswert sein sollte. Ich gehe nun über zu einer Darstellung der Schlämmethode und beginne mit der ersten Behandlung der Probe, in dem Falle, daß dasselbe Material sowohl biologisch wie chemisch untersucht werden soll, was gewöhnlich dann stattfinden muß, wenn nur eine geringe Menge Untersuchungsmaterial zur Verfügung steht.

I. Behandlung der Probe für biologische und chemische Analyse.

Die Probe wird zerkleinert, soweit sich das ohne Beschädigung größerer Schalenreste machen läßt, und in einem niedrigen, kleinen Glasbecher, z. B. von 150 cm^3 Inhalt, in destilliertes Wasser gelegt. Wenn der Probe Ton oder Sand beigemengt ist, so zerfällt sie oft ziemlich rasch, worauf das tonige oder feinere Material im allgemeinen durch vorsichtiges Umrühren mit einem Glasstabe aufgeschlämmt und durch ein Filtriertuch mit Maschen von ungefähr 0,2 mm Durchmesser in einem größeren Becher fixiert wird. Neue Quantitäten destillierten Wassers werden zugesetzt und das Aufschlämmen samt Filtrieren durch das Tuch so lange vorgenommen, bis alles Material, welches kleiner als die Maschen ist, durchgegangen ist. Die kleineren Tonklümpchen, die gewöhnlich auf dem Tuch liegen, können mittels einer Feder vorsichtig zerteilt und hierauf durch das Tuch gespült werden.

Durch diese Behandlung wird die Probe in zwei Teile zerteilt, einen gröberen aus Material mit mehr als 0,2 mm Korngröße und einen feineren von geringerer Korngröße. Der erstere kann nun, abgesehen von Kies und gröberem Sand, Vertreter der unter 1 und 2 angeführten Organismen enthalten, wogegen die unter 3 genannten in der Regel so fein sind, daß sie mit dem Tonschlamm und dem feinen Sand durch die Maschen gehen. Das Filtrat, wie man in Kürze die Flüssigkeit mit dem zuletzt genannten

feineren Material nennen kann, wird hierauf in einer Porzellanschale auf dem Wasserbade bis zur vollständigen Trockenheit verdampft. Hierauf nimmt man mit einem Messer die Hälfte der Probe aus der Schale und erhält so eine Durchschnittsprobe für die chemische Analyse, während das übrige auf Kieselschalen, besonders Diatomeen, nach der S. 787 und in Kapitel 89 angegebenen Methode untersucht wird.

II. Behandlung der Probe nur für biologische Untersuchung.

Wenn die Probe nicht chemisch untersucht werden soll, so wird sie zuerst nach der von Professor Nathorst beschriebenen Methode behandelt, die hauptsächlich darin besteht, daß sie ohne Beschädigung der größeren Fossilien in kleine Stücke zerbrochen und auf ein Messingnetz mit Maschen von 1—2 mm Durchmesser gelegt wird. Dieses wird in eine Schale mit gewöhnlichem, reinem, diatomeenfreien Wasser eingesenkt, in welchem man die Probe zerfallen läßt; die feineren Bestandteile (Ton, Sand und kleinere Fossilien) gehen durch die Maschen, was man durch vorsichtiges Auf- und Niederführen des Netzes im Wasser unterstützt. Kleine zurückgebliebene Tonklümpchen können leicht mit einem Pinsel zerteilt werden. Auf dem Netze befinden sich natürlich die Objekte, die größer als dessen Maschen sind und wozu die unter 1 und 2 angeführten organischen Reste gehören können. Diese werden für sich aufbewahrt und können noch in mehrere Größen zerlegt werden, indem man sie durch Siebe von verschiedener Maschengröße (5, 3 und 2 mm) durchsiebt. Was die endgültige Präparation und Aufbewahrung betrifft, so mag in Bezug auf Pflanzen auf die in Kapitel 86 und 87 angegebenen Methoden und in Bezug auf die übrigen Reste auf das unten folgende hingewiesen werden.

Das Filtrat, welches die unter 1, 2 und 3 aufgezählten kleineren Reste enthalten kann, wird mittels eines Glasstabes aufgeschlämmt und weiterhin durch ein Tuch mit Maschen von 0,2—0,5 mm Durchmesser filtriert. Ein solches von 0,5 mm ist gewöhnlich noch hinreichend fein, um auch kleinere Rhizopoden, Ostrakoden u. s. w. am Hindurchgehen in das neue Filtrat zu verhindern. Durch Anwendung des gröberen Tuches wird die Filtrierung des feineren Materials wesentlich beschleunigt. In jedem Falle muß man aber einen Teil dieses Filtrats durch das feinere Tuch mit Maschen von 0,2 mm geben und davon sowohl den Rückstand als auch das Filtrat für sich aufbewahren, da das letztere in manchen Fällen winzig kleine Objekte, beispielsweise Pollen von Nadelhölzern, enthält. Nachdem man kleinere Tonklümpchen etc., die auf dem 0,5-mm-Tuch sich befinden, mit einer Feder vorsichtig zerteilt und in das vorher durch dasselbe Tuch erhaltene Filtrat hineingespült hat, hat man demnach die Probe in folgende zwei

Hauptteile zerlegt: 1. einen Rückstand, welcher Fossilien, größer als 0,5 mm nebst kleinen Mengen von einer Größe teils zwischen 0,5 und 0,2, teils kleiner als 0,2 mm enthält; 2. ein Filtrat, welches Sand u. dgl., sowie Fossilien enthält, die kleiner sind als 0,5 bezw. 0,2 mm; letztere werden mit den Filtraten für die Untersuchung auf Diatomeen oder auf die oben unter 3. angeführten mikroskopischen Kieselschalen zusammengebracht. Die Konservierung und Präparation der oben unter 1. aufgeführten Fossilienreste kann etwa folgendermaßen geschehen: a) Das Material, welches größer ist als 2,5 mm, und Reste der oben unter 1. und 2. genannten Fossilien enthalten kann, wird ausgelesen, wobei die Schalenteile von Mollusken, die Fragmente von Echinodermen u. a. in Glasröhren eingelegt werden, während die Pflanzenreste nach der Andersson-Nathorstschen Methode weiter behandelt werden. b) Das Material, welches feiner ist als das unter a angegebene, aber gröber als 0,5 mm, besteht oft aus kleineren Mollusken- und Rhizopodenschalen, seltener aus Bryozoen- und Echinodermenfragmenten, die alle gleichfalls in Glasröhren aufbewahrt werden, wogegen Ostrakoden und andere Entomostrazeen, Epidermisfragmente von Molluskenschalen, Insekten u. s. w., sowie Statoblasten in Kanadabalsam eingelegt werden, nachdem das Objekt zuvor auf einem Deckglase mittelst einer Lösung von Tragantgummi befestigt ist, der über einer Gas- oder Spiritusflamme vorsichtig bis zur Trockenheit verdunstet wird. Auf letztere Weise werden auch die Fossilienreste präpariert (Pollen u. s. w.), die man aus dem Filtrat erhält, welches durch 0,2 und 0,5 mm-Tücher gegangen ist.

Zu dem Filtrate, welches oben als 2. bezeichnet wurde, ebenso wie zu dem oben beschriebenen Rückstande der Probe für biologische und chemische Analyse (I), wird rohe Salzsäure hinzugesetzt, bis das Aufbrausen aufhört und der Karbonatgehalt der Probe gelöst ist. Die Probe wird hierauf in einen Glasbecher von passender Größe (500—1000 cm³) gebracht, der mit gewöhnlichem reinem Wasser gefüllt wird, worauf die gelösten Salze, die überschüssige Säure u. s. w. samt dem feinen Tonschlamm durch wiederholtes Dekantieren entfernt werden (5—6mal oder noch öfter bei größeren Proben feinen Tons). Zwischen jeder Dekantierung muß man indessen der Probe ½—¾ Stunde Zeit lassen zum Absetzen[1]).

Nach der letzten Dekantierung wird die Probe unter Umrühren bis fast zur Trockne in einer Porzellanschale abgedampft, unter Umrühren mit dem doppelten Volumen konzentrierter, ungereinigter Schwefelsäure erwärmt, bis sie zu riechen beginnt, und hierauf Natronsalpeter in geringer Menge zur Oxydation der organischen Substanzen zugesetzt, bis die Probe

[1]) Bevor das oben mit 2. bezeichnete Filtrat mit Salzsäure behandelt wird, dekantiert man es in ½stündigen Pausen, damit die Säure desto kräftiger und vollständiger auf das Material einwirken kann.

eine helle, im besten Falle weiße Farbe annimmt. Nach der Abkühlung wird sie in einem großen Becherglase von 500—1000 cm^3 mit gewöhnlichem Wasser aufgenommen, mit einem Glasstabe umgerührt und hierauf in der angegebenen Weise von neuem dekantiert, bis alle Salze u. a. fortgeschafft sind, wobei gleichzeitig ein großer Teil des noch übrigen Tonschlammes mit fortgeht.

Hierauf wird die Probe mit gewöhnlichem Wasser in eine Porzellanschale gespült und bis fast zum Kochen erwärmt, mit einigen Kubikzentimetern Natronlauge versetzt, einige Minuten umgerührt, in einen großen Glasbecher gebracht und wie vorher dekantiert[1]).

Der nun noch vorhandene Rest der Probe, der aus feinen Sanden, etwas Tonschlamm und möglicherweise Diatomazeen, Radiolarien oder Spongiennadeln besteht, wird in ein kleineres Becherglas von 200—300 cm^3 gebracht, welches mit Wasser — am besten mit destilliertem — gefüllt wird. Man läßt ihm 4—5 Minuten Zeit zum Absetzen und bringt dann die Flüssigkeit mit dem noch schwebenden Material in einen anderen, größeren Becher. Damit fährt man so lange fort, bis so gut wie alles feinere, leichtere Material von dem gröberen und schweren getrennt ist. Den Becher mit dem feineren Material muß man hierauf ruhig stehen lassen und dekantiert ihn später in gewöhnlicher Weise, um ihn von dem noch vorhandenen Tonschlamm zu befreien.

Inzwischen wird die eigentliche Anreicherung des gröberen Materials vorgenommen und in der Weise ausgeführt, daß das ganze Material (wenn es wenig ist) oder Teile desselben in kleinere, weite und niedrige Glasbecher gebracht werden, die etwa 150 cm^3 fassen, zusammen mit Wasser, welches den Boden 1,5—2 cm hoch bedeckt.

Nachdem das Material zum größten Teile gesunken ist, setzt man das Wasser in drehende Bewegung, indem man den Becher mit der Hand in horizontaler Richtung in Kreisen bewegt, deren Größe im übrigen der des Bechers proportional sein muß und in jedem Falle leicht beurteilt werden kann.

Diatomazeen und andere Kieselschalen, die spezifisch leichter sind als die kompakten Sandkörner, werden durch diese Bewegung aufgeschlämmt und mit dem Wasser in einen anderen, ähnlichen Becher abgegossen, während die Sandkörner und ein Teil der Diatomazeen, die sich bei der Drehung in der Mitte des Bodens angesammelt haben, größtenteils zurückbleiben. Der letztgenannte Rückstand kann fortgegossen werden, sofern nicht die mikroskopische Untersuchung eine nennenswerte Menge von Diatomazeen nachweist, in welchem Falle er nochmals in der angegebenen Weise

[1]) Die Gegenwart von geringen Mengen von Natronlauge veranlaßt bekanntlich ein schnelleres Niedersinken des Tonschlammes, so daß nunmehr die Dekantierung in Zwischenräumen von 10—15 Minuten geschehen kann.

angereichert wird. Inzwischen hat das Material der ersten Anreicherung sich absetzen können, und da ein etwas feinerer Sand beim Abgießen gewöhnlich den Diatomeen folgt, so muß die Anreicherung wieder und wieder vorgenommen werden, später in immer kleineren Bechern, bis schließlich die Diatomeen so gut wie vollständig von Sand gereinigt sind, was durch die mikroskopische Untersuchung konstatiert wird.

Hierauf wird die Anreicherung des zuerst abgegossenen Materials vorgenommen; wenn die Probe groß ist, ist es zweckmäßig, sie noch weiter nach der Korngröße in zwei oder drei Teile zu zerlegen, in der Weise, daß das feinste, welches in dem mittelgroßen Becher (200—300 cm^3) nach Verlauf von 15 Minuten noch nicht niedergesunken ist, zuerst abgegossen wird, hierauf das Material, welches nach 10 Minuten noch schwebt, worauf das Niedergesunkene den drittgröbsten Teil ausmacht. Die Anreicherung geht in der Hauptsache ebenso vor sich, wie bei dem gröbsten Material, nur mit dem Unterschiede, daß dem feineren zwischen jeder Drehbewegung längere Zeit zum Absetzen gelassen werden muß.

Bei jeder Drehung darf nicht mehr Probe genommen werden, als daß der Boden des Bechers nach dem Niedersinken von einer dünnen, höchstens 2,0 mm dicken Schicht bedeckt ist. Weiterhin muß, nachdem der meiste feine Sand fortgeschafft ist, die Probe ganz oder teilweise in kleinere Becher gebracht werden, zuletzt in solche, die nur 15—20 cm^3 fassen, worauf durch vorsichtige Bewegung die Diatomeen gewöhnlich fast vollständig rein erhalten werden können.

Wenn die Probe in dieser Weise in ihrer Gesamtheit hinreichend angereichert ist, so wird sie zweckmäßig in zwei bis drei Teile von verschiedener Korngröße geteilt; jeder wird für sich in einem kleinen Becherglase mit einer Lösung von Gummitragant aufgenommen und rasch mit dem Glasstabe umgerührt, worauf einige Tropfen sofort auf ein Deckglas gebracht werden; dieses wird vorsichtig erwärmt, bis die Flüssigkeit abgedunstet ist, worauf die Diatomeen mit dem Gummi auf dem Glase befestigt sind. Letzteres wird hierauf auf dem Objektglase befestigt, auf welchem sofort ein wenig Kanadabalsam, oder noch besser eine Lösung von vollkommen reinem, kristallinischem Storax in Benzol aufgetragen ist. Nachdem der Kanadabalsam resp. Storax bis zum Kochen erhitzt und die Luftblasen zum größten Teil entfernt sind, läßt man das Präparat abkühlen. Storaxpräparate jedoch erst, nachdem sie im Trockenschranke oder auf andere Weise gehärtet sind. Soll die angereicherte Diatomeenprobe direkt und ohne die zuletzt genannte Einbettung einem Spezialisten zur Bestimmung gesandt oder die Hauptmasse aufbewahrt werden, so bringt man sie in kleine, starke Glasröhren mit Spiritus. Nicht selten passiert es, daß in der Probe nach der Behandlung mit konzentrierter Schwefelsäure sich in größerer oder geringerer Menge kleine, weiße, durchscheinende

Klümpchen zeigen, die in manchen Fällen wahrscheinlich aus Gips, in anderen aus Ton bestehen; diese können gewöhnlich ganz leicht fortgeschafft werden durch Kochen der Probe in Wasser, welchem so viel Soda zugesetzt wird, daß eine deutliche alkalische Reaktion eintritt, oder noch durch Zusetzen von etwas Natronlauge; doch muß von letzterer jedesmal nur eine ganz geringe Menge zugefügt werden, da man sonst gewärtigen muß, daß die Kieselschalen sich auflösen.

Für die Untersuchung auf Diatomeen genügt in der Regel die Anwendung einiger Kubikzentimeter der ursprünglichen Probe, da es ja gewöhnlich nur darauf ankommt, den allgemeinen Charakter der eingeschlossenen Diatomeenflora zu bestimmen, eine Frage, die nach dem gegenwärtigen Standpunkte der Wissenschaft meist auf Grund einiger weniger Arten beantwortet werden kann. Wenn größere Proben auf die zu I und II gehörenden Reste untersucht werden sollen und nur ein kleiner Teil auf Diatomeen, so ist es zweckmäßig, beim Filtrieren den größten Teil des feineren Schlammes direkt fortzuschaffen, was durch Anwendung eines Glasbechers mit einer Öffnung am Boden geschehen kann.

Kapitel 91.

Die Präparation von Foraminiferen und anderen mikroskopischen Tierresten.

Die Gewinnung von Foraminiferen, Radiolarien, Cypridinen und ähnlichen kleinen Schaltieren. Die Behandlungsweise ist ganz verschieden nach dem Materiale, in welchem die genannten winzigen Körper eingeschlossen sind. In den älteren Formationen sind es meist erhärtete Gesteine, Kieselschiefer, Kalksteine, Schieferton, feste Mergel, in den jüngeren dagegen mehr oder weniger plastische Tone, Tonmergel, ganz feine Sande oder ähnliches. Durch längeres Aufweichen in Wasser zerfallen die meisten Tone zu einem Brei; manche tun dies erst, nachdem man sie anhaltend gekocht hat, und bei einer kleinen Zahl, bei welcher auch das nicht nützt, verfährt man in der Weise, daß man den Ton in kleinen Stücken in eine heiße, gesättigte Salpeter- oder Glaubersalzlösung einträgt, diese eine Zeitlang kocht und dann abkühlen läßt. Das in die Poren des Tones eingedrungene Salz kristallisiert beim Erkalten aus und zersprengt den Ton in winzige Stückchen, ohne die eingeschlossenen Schälchen zu verletzen. Man wiederholt diese Operation, bis der Ton vollkommen zu einem weichen, feinen Brei zerfallen ist. Alsdann verdünnt man mit viel Wasser, rührt um und gießt, nachdem man einen Augenblick hat absetzen lassen, die Flüssigkeit mit den in ihr schwebenden Tonteilchen ab. Dieses Verfahren wiederholt man so lange, bis sich die Flüssigkeit bei weiterem

Umrühren nicht mehr trübt. Im Rückstande hat man dann die gesamten tierischen organischen Reste, außerdem aber in den meisten Fällen große Mengen feineren oder gröberen Sandes, Konkretionen von Schwefelkies, Limonit oder kohlensaurem Kalke, Holzreste, Braunkohlenstückchen u. a. m. Um einen besseren Überblick zu gewinnen, tut man am besten, den auf dem Wasserbade getrockneten Rückstand durch mehrere feinmaschige Siebe zu geben, dadurch in einzelne Korngrößen zu zerlegen und diese unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung (6—10mal) zu prüfen. Man wird dann oft erkennen, daß die gröbsten Teilprodukte nichts von dem gesuchten Materiale enthalten und darum beseitigt werden können. Aus dem Reste liest man, nachdem man ihn auf schwarzem Papiere ausgebreitet hat, die größeren Foraminiferen etc. mit Zuhilfenahme einer guten Lupe und eines schwach angefeuchteten spitzen Pinselchens oder einer zugespitzten Borste aus. Für die kleineren Foraminiferen u. s. w. ist zum Aussuchen das Mikroskop nötig; weit besser ist aber die im folgenden beschriebene Methode Stelzners[1]), der sich zur Isolierung der Foraminiferen aus dem Schlämmrückstande mit bestem Erfolge der Thouletschen Lösung (siehe S. 573) bediente. Den Rest, den er erhielt, nachdem er in der oben angegebenen Art und Weise die körnigen Teile entfernt hatte, zerlegte er mittels eines Siebes mit 124 Maschen auf den Quadratzentimeter in zwei Produkte, ein gröberes, aus welchem er die großen Foraminiferen und andere Versteinerungen mit Leichtigkeit mit Lupe und Pinzette auslesen konnte, und ein feineres, welches einer besonderen Behandlung unterworfen wurde. Er trug das letztere in eine konzentrierte Kaliumquecksilberjodidlösung ein und verdünnte diese durch Zusatz von destilliertem Wasser mehr und mehr. Dadurch erhielt er eine große Anzahl von Teilprodukten, indem nach jeder Verdünnung wieder ein Teil zu Boden sank und isoliert wurde. Als Apparat benutzte er einen Glastrichter, dessen Ausflußrohr durchschnitten, hierauf durch ein Stück Kautschukschlauch wieder zusammengefügt und an der so neugeschaffenen Verbindungsstelle mit einem Quetschhahn versehen worden war. Die Grenzwerte der jeweiligen Dichte der Thouletschen Lösung wurden (siehe S. 594) durch Indikatoren bestimmt. Die Teilprodukte wurden ordentlich mit destilliertem Wasser ausgewaschen und auf dem Wasserbade getrocknet.

Die Untersuchung der zahlreichen Einzelprodukte, deren Zahl noch durch vorherige Zerlegung des feineren Siebproduktes in drei Korngrößen mittelst zweier Siebe von 400 und 1400 Maschen auf den Quadratzentimeter vermehrt wurde, ergab für unsere Zwecke folgende wichtige Resultate:

Aus einer Lösung, deren spezifisches Gewicht zwischen 3,045 und 2,938

[1]) Über die Isolierung von Foraminiferen aus dem Badener Tegel mit Hilfe von Jodidlösung. Ann. des k. k. naturhist. Hofmuseums. V. S. 15—19. Wien 1890.

steht, fallen alle in Schwefelkies verwandelten oder damit erfüllten Foraminiferen und anderen organischen Reste, sowie alle schweren Mineralien aus. Das Foraminiferenmaterial gewährt zwar unter dem Mikroskop einen reizenden Anblick, ist aber für nähere Untersuchung nicht zu verwerten.

Aus der Lösung, deren Dichte allmählich von 2,938 bis auf 2,6 herabgesetzt wird, fallen dann nacheinander die teilweise verkiesten Foraminiferen und die leichteren Mineralien, Quarz, Feldspat, Glimmer, Kalkspat u. a. aus.

Die Hauptmasse der Foraminiferen erhält man in ausgezeichneter Beschaffenheit und Reinheit, wenn man nun die Flüssigkeit in mehreren Abstufungen bis auf die Dichte 2,007 (Opal) bringt. Zuerst fallen die ausgefüllten, zuletzt die mehr oder weniger hohl gebliebenen Schalen zu Boden.

Ist die Lösung noch leichter wie 2, so daß also Opal in ihr sinkt, so schwimmt auf ihr noch ein Rest, der ganz und gar aus vollkommen hohl gebliebenen Schalen besteht, die die allerfeinsten Details des Schalenbaues nach ihrer Einbettung in Kanadabalsam verraten.

Sind die beschriebenen Methoden wegen der Härte der die organischen Reste einschließenden Gesteine nicht anwendbar, so stehen zwei Wege offen: entweder fertigt man Dünnschliffe des Gesteins an oder man zerkleinert es im Mörser zu einem mäßig feinen Pulver; im ersteren Falle erhält man natürlich Querschnitte durch die gesuchten organischen Reste und ist in Bezug auf deren Menge und günstige Lage in hohem Maße vom Zufalle abhängig; trotzdem hat man bei sehr harten Gesteinen, wie Kieselschiefer, kaum einen anderen Weg und kann diesen Nachteil nur durch eine große Zahl von Präparaten etwas ausgleichen. Der zweite angegebene Weg, die Zerkleinerung des Gesteins, wird hauptsächlich bei Kalksteinen eingeschlagen. Beim Zertrümmern des Gesteins springen eine ganze Anzahl der winzigen Schälchen ganz oder teilweise heraus und können aus dem durch Auswaschen vom feinen Staube befreiten Pulver unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung ausgelesen werden. Die Zertrümmerung muß so weit getrieben werden, daß die einzelnen Körnchen unter Stecknadelkopfgröße herabgehen; den ausgewaschenen und getrockneten Rückstand legt man auf Objektträger in eine dünne Terpentinschicht, wodurch das Erkennen der etwa herausgesprungenen Foraminiferen wesentlich erleichtert wird. Hat man erkannt, daß die Foraminiferen eines Kalkgesteins ganz oder zum Teil verkieselte Schalen besitzen, so ist es oft von Vorteil, eine größere Menge des Verwitterungsbodens von solchem Kalkstein zu schlämmen und aus dem der Größe der gesuchten Foraminiferen entsprechenden Teilprodukte diese in der angegebenen Weise unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung auszulesen.

In vielen Fällen kann es wünschenswert sein, die Wachstumsverhältnisse

und die Beschaffenheit der inneren Kammerwände der Foraminiferen genau kennen zu lernen. Zu diesem Zwecke bedient man sich der folgenden von Beißel für Foraminiferen und Bryozoen angewendeten Methode[1]): Die Schalen, von denen Steinkerne hergestellt werden sollen, müssen natürlich hohl sein und möglichst reine Kammern haben. Sie werden äußerlich gereinigt und dann in eine mit Kieselsäure gesättigte Wasserglaslösung gelegt, welche man in der Weise herstellt, daß man zu einer Lösung käuflichen Wasserglases so viel Kieselgallerte hinzufügt, daß ein Überschuß derselben bleibt. Nach langsamem Anwärmen zum Austreiben der Luft aus den Schalen dampft man die Lösung möglichst langsam bis zur Sirupdicke ein. Am besten ist es, dieses Eindicken durch Verdunstung bei Zimmertemperatur zu bewirken, was etwa 12 Stunden dauert. Die Flüssigkeit ist dabei öfters umzurühren, damit sie keine Haut auf der Oberfläche bildet. Hierauf werden die Schalen vorsichtig aus der Flüssigkeit genommen, am besten mittels eines Pinsels, und in einer flachen Schale mit einer Lösung von Ammoniak übergossen, welche man zweckmäßig mit etwas Kupfervitriollösung blau färbt. Sind die Schalen von der Flüssigkeit durchdrungen, so gießt man diese bis auf einen kleinen Rest ab, welcher dann möglichst vorsichtig mittels Chlorwasserstoffsäure neutralisiert wird, wobei darauf zu achten ist, daß die Schalen nicht angegriffen werden. Dann wird die Flüssigkeit langsam eingedampft, die Schalen herausgenommen und, nachdem sie vollständig ausgewaschen sind, wieder in Wasserglas gelegt und das Verfahren von vorher wiederholt. Am besten ist es, wenn man die ganze Operation dreimal vornimmt, oft genügt aber auch ein zweimaliges Fällen von Kieselsäure in den Kammern. Nach den Erfahrungen Beißels genügte dagegen ein einmaliges Bad in Wasserglas nie. Die Gehäuse, in deren Kammern nun Kieselsäure ausgeschieden ist, werden dann — am besten in einem Uhrglase — in sehr verdünnte Salzsäure gebracht, um die Schalen aufzulösen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Entwicklung der Kohlensäure möglichst langsam vor sich gehen muß, wenn durch deren mechanische Einwirkung der künstliche Steinkern nicht zerstört werden soll. Man bringt daher zweckmäßig die Schalen in Wasser und setzt vorsichtig tropfenweise die Säure zu. Erst wenn die Schale aufgelöst ist, kann man zur Entfernung der letzten Schalenreste die Steinkerne in konzentrierte Säure bringen, resp. diese aufgießen und erwärmen. Dann werden, immer ohne die sehr leicht zerstörbaren Steinkerne zu berühren, diese möglichst ausgewaschen, dann wird das Wasser abgegossen und durch Alkohol ersetzt. Mit diesem erwärmt man vorsichtig, bis die Luft ausgetrieben ist, und bettet hierauf die nun fertigen Steinkerne auf dem Objektträger vollständig in Kanadabalsam ein, den man zunächst etwas mit Terpentin verdünnt. Diese Steinkerne werden in

---

1) J. Beißel, Die Foraminiferen der Aachener Kreide. Abhandlungen der Königl. Preuß. geol. Landesanstalt. Neue Folge. Heft 3. S. 5. Berlin 1891.

dem Balsam vollständig durchsichtig und eignen sich vortrefflich zur mikroskopischen Untersuchung.

Die in den Vereinigten Staaten angewendeten Methoden hat Ch. Schuchert wie folgt zusammengestellt:

Eine der ersten Regeln ist die, daß alle Glasgeräte, Pipetten u. s. w., die zur Verwendung gelangen, absolut rein sind und daß nur filtriertes Fluß- oder Regenwasser benutzt werden darf. Anderenfalls würde man wahrscheinlich auf den Präparaten viele schöne Organismen finden, die nicht aus der zu präparierenden Substanz herrühren.

Ton. Bei der Präparation der meisten Tone legt man ungefähr eine Unze des Materials und ebensoviel gewöhnliche Waschsoda in eine durchsichtige Zweiliterflasche, füllt sie nicht über $^1/_4$ mit Wasser und läßt den Ton darin 12—20 Stunden lang unter häufigem Umschütteln der Flasche, bis er vollständig zertrümmert ist. Dann füllt man die Flasche mit Wasser und dekantiert nach 25 Minuten; dies wiederholt man in den gleichen Zwischenräumen, bis die oberen $^3/_4$ des Wassers in der Flasche nach 25 Minuten Stehen beinahe klar sind. Eine große Menge von feinem Sand, Ton und Soda wird dadurch entfernt, und durch die Einwirkung der Soda ist der Ton zerkleinert und das meiste den Fossilien anhaftende Material beseitigt. Dann bringt man mit einer Pipette den Sand u. s. w. des Rückstandes auf einige mikroskopische Präparatengläser, breitet ihn in sehr dünnen Schichten auf der Mitte des Glases aus, trocknet rasch über einer Spiritusflamme und bedeckt das noch heiße, aber trockene Material mit einigen Tropfen Kanadabalsam, indem man die Gläser so lange erwärmt, bis der Balsam nach der Abkühlung hart wird. Da solche Versuchspräparate selten von Wert sind, so braucht man sie nach dem Erhärten des Balsams nicht mit einem Deckglase zu versehen. Eine sorgfältige Prüfung solcher Präparate unter dem Mikroskop bei schwacher Vergrößerung gibt eine rasche Entscheidung über den Wert des Beobachtungsmaterials, und wenn es sich zeigt, daß es nur aus Sand besteht, so kann man alles wegwerfen, die Flasche auswaschen und denselben Prozeß mit einer anderen Tonprobe wiederholen. Zeigen aber die Präparate einige gute Fossilien, so besteht die nächste Aufgabe darin, sie so weit als möglich von den Mengen von Sand u. s. w. zu befreien, mit denen sie vergesellschaftet sind. Hierbei muß, wie bei der ersten Schlämmung, das spezifische Gewicht das meiste tun. Man schüttet den größten Teil des Wassers weg und bringt die Schalenreste, den Sand u. s. w. in ein Becherglas, wäscht die Flasche aus, spült das Glas zu $^3/_4$ mit Wasser und gießt nach 10 Minuten $^3/_4$ des Inhaltes durch einen Glastrichter in die Flasche, was man 5- oder 6mal wiederholt. Wie nach der ersten Schlämmung fertigt man einige Präparate des Materials vom Boden der Flasche an, prüft sie, und konserviert die Präparate, wenn sie von Wert sind. Wenn nichts von Wert darin ist, schüttet man den Inhalt der Flasche aus, füllt den Becher wieder wie vorher und

wiederholt diese Schlämmung und Untersuchung in immer kürzeren Zwischenräumen, beispielsweise nach 3, 2, 1 Minute oder weniger, bis nur noch der gröbste Sand im Becherglase bleibt. Dann ist jeder nach dem spezifischen Gewicht gesonderte Teil des Tones untersucht und von dem Ausgangsmaterial bleibt vielleicht $^1/_{20}$ übrig, in dem dann vielleicht auf je 100 Sandkörner ein gut erhaltenes Fossil kommt.

Schiefer: Der Fossilieninhalt der meisten weichen Schiefer kann gewonnen werden durch Zerbrechen der Stücke mit einer starken Zange, indem man den Schiefer unter Wasser nach der Schieferung zerbricht. Dadurch kann man viele Fossilien freilegen, ohne sie zu zerbrechen. Dann kocht man die festeren Stücke einige Minuten in einer ziemlich starken Lösung von Waschsoda, schlämmt, und trennt die Fossilien von dem feineren Ton, Sand u. s. w. durch wiederholtes Dekantieren wie beim Tone.

Kreide: Foraminiferen, Kokkolithen, Rabdolithen und gelegentliche Radiolarien, die in manchen Kreidegesteinen enthalten sind, können vom Gestein befreit werden durch Waschen der Oberfläche eines reinen Stückes davon mit einem ziemlich harten Pinsel unter Wasser. Das Wasser wird später so weiß wie Milch werden. Das spezifische Gewicht der Foraminiferen und Radiolarien wird sie schneller auf den Boden des Gefäßes befördern und sie können dann zum Teil von dem Sande u. s. w. durch wiederholtes Schlämmen und Dekantieren nach Art der Tonbehandlung getrennt werden. Aber trotz großer Sorgfalt bei diesem Schlämmen wird ein großer Teil der Kokkolithen und Rabdolithen, welche vor allem dem Wasser das milchige Aussehen verleihen, verloren gehen. Sie sind sehr fein und sehr leicht und einige von ihnen bleiben mehrere Stunden in dem Wasser eines Becherglases suspendiert. Sie können von dem übrigen Material durch wiederholtes Schlämmen und Dekantieren getrennt werden, so daß man reine Präparate herstellen kann, aber die Zeit zwischen den einzelnen Dekantierungen muß zwischen $^1/_2$ und $^3/_4$ Stunden betragen.

Kapitel 92.

Das Sammeln und Präparieren größerer wirbelloser Tiere.

Ich verstehe darunter solche, deren Aufsuchung und Untersuchung die Anwendung des Mikroskopes nicht erforderlich macht, also die Reste von Echinodermen, Cephalopoden, Gastropoden, Brachiopoden u. s. w. Im 8. Kapitel dieses Werkes ist über die verschiedene Art und Weise der Erhaltung dieser organischen Reste, über das Versteinerungsmaterial und über ihre größere oder geringere Häufigkeit in den verschiedenen Gesteinen Näheres mitgeteilt, worauf hiermit verwiesen sei. Die zur Anwendung gelangenden Sammel- und Untersuchungsmethoden gliedern wir zweck-

mäßigerweise in solche, die auf der natürlichen Lagerstätte der Fossilien zur Anwendung gelangen, und zweitens in solche, die mit dem gesammelten Material im Hause ausgeführt werden.

I. **Arbeiten im Felde.** a) Die Ausrüstung. Die Ausrüstung des sammelnden Paläontologen setzt sich aus einer Reihe von Gegenständen zusammen, unter denen folgende die wichtigsten sind:

1. Ein Behälter zum Transportieren des gesammelten Materials. Als solcher kann zweckmäßig ein weitmaschiges Netz, wie es unsere Hausfrauen zu Markteinkäufen gebrauchen, Verwendung für die Unterbringung des Materials an Ort und Stelle finden. Für den weiteren Transport bis zur nächsten Bahnstation oder etwas Ähnlichem ist dagegen ein Rucksack entschieden vorzuziehen und zweckmäßiger als eine Umhängetasche.

2. Hämmer. Je nach dem Gestein, welches ausgebeutet werden soll, wird Größe und Form der zu benutzenden Hämmer wechseln müssen. Leicht spaltende, dünnplattige Gesteine erfordern einen hackenartigen Hammer mit breiter, scharfer Schneide und kurzem Griff, wobei die Schneide rechtwinklig zum Griffe stehen muß. In größere Blöcke zerfallendes Gestein, wie beispielsweise massige Kalke, machen den Gebrauch eines größeren Hammers zum Zwecke der Zertrümmerung zu kleinen Bruchstücken notwendig. Daneben wird man noch einen kleineren Hammer von parallelepipedischer Form benötigen, der sich trefflich dazu eignet, kleinere Stücke von größeren abzuschlagen. Auch ein Hammer, der auf der einen Seite in eine schmale Schneide ausläuft und auf der anderen eine quadratische Schlagfläche besitzt, wird in vielen Fällen gute Dienste leisten.

3. Meißel. Man wird im Felde im allgemeinen mit einem Steinmeißel von mäßiger Größe auskommen, der den Zweck hat, Versteinerungen, die in größeren, ebenen Flächen, an Felswänden oder größeren Blöcken sichtbar sind, zu gewinnen. Man arbeitet zu dem Zwecke mit Hammer und Meißel eine quadratische Rinne in das Gestein um das zu erbeutende Stück herum ein, setzt dann den Meißel schräg von oben nach unten gerichtet in die obere Rinne ein und versucht dann durch einen kurzen, aber kräftigen Schlag das betreffende Teilstück herauszubringen.

4. Vergrößerungsglas. Eine kleine Taschenlupe mit möglichst großem Gesichtsfelde und zwei- bis viermaliger Vergrößerung ist genügend.

5. Ein feinmaschiges, flaches Sieb, um an Ort und Stelle an der Luft oder im Wasser eine Sonderung des Materials nach der Korngröße vornehmen zu können.

6. Etiketten. Ich habe es außerordentlich zweckmäßig gefunden, zu diesem Zwecke die kleinen Notizblocks zu verwenden, auf denen die süddeutschen Kellnerinnen den Gästen ihre Rechnungen zu machen pflegen. 100 Blätter sind durch einen Streifen Blech zusammengefaßt, ruhen auf

einer dünnen Pappunterlage auf und lassen sich auf einer durchlöcherten Linie leicht abtrennen. Die Pappunterlage gibt zugleich der schreibenden Hand größere Sicherheit; die Blechfassung ist durchlocht und ermöglicht es, den Notizblock, an einer Schnur befestigt, im Knopfloche zu tragen, so daß er jederzeit leicht zugänglich ist.

7. Notizbuch.

8. Zeitungspapier zum Einwickeln.

9. Seidenpapier und Glasröhren von verschiedener Größe, um wertvolle und zerbrechliche Fossilien sicher darin aufzubewahren.

10. Bindfaden, um die Ausbeute einer Örtlichkeit oder einer bestimmten Schicht zu einem einheitlichen Paket zu vereinigen.

b) Zum Sammeln geeignete Örtlichkeiten. Die geeignetsten Örtlichkeiten, an denen der Sammler am zweckmäßigsten seine Tätigkeit in einem Gebiete beginnt, sind natürlich die vorhandenen Aufschlüsse[1]) (vgl. Kap. 3). Das Studium der Gesteine im Aufschlusse und ihrer Fossilienführung wird dann leicht weitere Gesichtspunkte eröffnen, von denen eine Anzahl als Beispiele hier angeführt sein mögen.

Oftmals wird das Material, welches für die mit dem Steinbruchsbetrieb verbundenen Zwecke nicht brauchbar ist, zu großen Halden aufgehäuft, und gerade dieses Haldenmaterial enthält bisweilen den größten Reichtum an Versteinerungen, die durch die Verwitterung des Gesteines der Beobachtung erst richtig zugänglich gemacht werden. Man achte also sorgfältig darauf, ob nicht diese Abraumhalden sich besser zum Sammeln eignen, als das anstehende Gestein des Aufschlusses selbst.

Man studiere in einem Aufschlusse sorgfältig den Verwitterungsboden des Gesteins und prüfe, ob etwaige Versteinerungen in ihm sich gut erhalten haben und aus dem Gestein durch die Verwitterung herauspräpariert werden. In diesem Falle wird es natürlich zweckmäßig sein, die von der betreffenden Schicht eingenommenen Ackerflächen besonders an den Stellen sorgfältig abzulesen, wo sie sich in geneigter Lage befinden. An solchen Abhängen wird durch das Wasser gewöhnlich eine Menge des feineren Materials fortgeführt und eine Anreicherung der organischen Reste bewirkt.

Wenn versteinerungführende Tone von einem Wasserlaufe durchschnitten werden, so kann dieser das tonige Gesteinsmaterial gewöhnlich leichter transportieren, als die organischen Reste, und letztere können in diesem Falle im Bette des Baches angehäuft werden und zwar besonders an Stellen, wo ein Gefällwechsel eintritt.

Konkretionäre Bildungen in einer Gesteinsfolge besitzen in der Regel

[1]) Sehr gut tut man in jedem Falle, Erkundigungen darüber einzuziehen, ob innerhalb des zu untersuchenden Gebietes Lokalsammler wohnen, von denen man — wenn sie auch nicht immer mit ihren Kenntnissen herausgehen — Auskunft über versteinerungsreiche Lokalitäten erhalten kann.

einen größeren Fossilienreichtum; beobachtet man in einem Aufschlusse solche Bildungen, so wird es in den meisten Fällen leicht sein, auch außerhalb des Aufschlusses, in Lesesteinen in den Feldern, diese Konkretionen wieder zu finden und auszubeuten.

Sind in einem Kalkstein die Fossilien verkieselt, so kann man sie gewöhnlich, aufs feinste herauspräpariert, innerhalb des gelbbraunen Verwitterungslehmes finden, mit dem Klüfte und Spalten eines solchen Kalksteines häufig erfüllt sind.

Man wird öfters die Beobachtung machen, daß das Gestein im Anstehenden, besonders wenn es sich um kristallinische Kalke handelt, fast nichts von Versteinerungen zeigt, daß sie dagegen infolge kleiner Strukturunterschiede bei der Verwitterung hervortreten, und zwar teils selbst, körperlich, wenn sie schwerer verwittern als das Muttergestein, teils als Hohldrücke und Steinkerne im umgekehrten Falle. In vielen Fällen sind diese Hohldrücke und Kerne durch die Natur viel schöner präpariert, als man es selbst am frischen Gestein tun könnte, und es ist zu Hause nicht schwer, sich durch Abgüsse u. s. w. die natürliche Gestalt des Fossils wieder zu erzeugen. Man prüfe deshalb an solchen Stellen, wo das Sammeln im Anstehenden keine Ausbeute liefert, verwitterte Felsoberflächen oder längere Zeit der Luft ausgesetzt gewesenes Material am Fuße von Felsen, oder auch die Oberflächen der in altem Gemäuer steckenden Steine. Eine ganz ähnliche Erfahrung wird man auch bei metamorphen Gesteinen machen und wird auch in diesen die Sammeltätigkeit zweckmäßigerweise auf angewitterte Stücke konzentrieren. — Wenn Schichten von Sandstein, Kalkstein oder Grauwacke mit Schiefer oder Ton wechsellagern, so sitzen die Versteinerungen oft gerade auf den Grenzflächen, sind aber im frischen Gestein mit einem dünnen Tonhäutchen überzogen; auch hier präpariert die Natur durch Frost u. s. w. dies Häutchen besser ab, als es menschliche Kunst vermag; darum sammelt man die besten derartigen Versteinerungen auf Feldern und Lesesteinhaufen.

Kleine Fossilien findet man oft auf sekundärer Lagerstätte und in großer Menge in Kiesgruben, und es ist oft möglich, aus den den Fossilien noch anhaftenden Gesteinsfragmenten den petrographischen Charakter des Einschlußgesteins zu erkennen und womöglich die Vorkommnisse auf eine bestimmte Lokalität des Anstehenden zurückzuführen. Ebenso ist es oft zweckmäßig, die gleichfalls auf sekundärer Lagerstätte befindlichen Gerölle eines Flusses oder Baches zu untersuchen, die oftmals auf den glatt abgeschliffenen, nassen Oberflächen Querschnitte von Fossilien in Gesteinen zeigen, in denen man sie sonst vielleicht übersehen hätte. Nach den in Kapitel 20 angegebenen Gesichtspunkten kann man Schlüsse auf größere oder geringere Nähe des Anstehenden dieser Gerölle ziehen.

c) Das Sammeln. Für das Sammeln selbst kommen eine Anzahl

von Gesichtspunkten in Betracht, die ich hier bei ihrer Menge nur in beschränkter Auswahl geben kann. Wenn man geneigte Flächen, also etwa Schuttkegel oder Halden oder die Gehänge einer Schlucht absucht, so beginne man stets an deren Fuße und lese die zur Verfügung stehende Oberfläche in der Weise ab, daß man sich gerade aufwärts bewegt, auf derselben Linie zurückkehrt und sich dann zwei oder drei Schritte davon entfernt wieder auf einer parallelen Linie von unten nach oben hochbewegt. Solches Ablesen von geneigten Flächen ist besonders dann zu empfehlen, resp. zu wiederholen, wenn inzwischen starke Regengüsse niedergegangen sind, durch deren Wirkung eine neue Oberfläche geschaffen ist.

Wenn eine reiche Fülle von Material vorhanden ist, so nehme man auch große Mengen mit, da sie die Möglichkeit gewähren, einerseits die Entwicklung eines Geschöpfes von den kleinen Jugendformen bis zum ausgewachsenen Tiere, anderseits auch die Variationen innerhalb der Spezies zu untersuchen. Die Entscheidung, ob etwas die Aufbewahrung lohnt oder nicht, treffe man am zweckmäßigsten nicht an Ort und Stelle, sondern erst bei der späteren Untersuchung zu Hause.

So weit als möglich sammle man vollständige Exemplare, doch sind auch da einige Ausnahmen wohl zu beachten; so ist beispielsweise jedes Bivalvenfragment mit gut erhaltenem Schlosse von Wert und mitzunehmen. Dasselbe gilt bei den Gastropoden für solche Fragmente, an denen die Mundöffnung erhalten ist, und bei Cephalopoden sind diejenigen Bruchstücke von Wert, welche die Wohnkammer oder wenigstens Teile ihrer charakteristischen Formen erkennen lassen.

Sind die Versteinerungen in festem Gestein eingeschlossen, so beschränke man sich an Ort und Stelle darauf, Stücke zu gewinnen, bei denen der sichtbare Teil des Fossils ringsum von Gestein umgeben ist, und verspare die weitere Herauspräparierung des Petrefakts für das Haus. Vor allen Dingen hüte man sich, das Gestein um das Fossil herum mit gröberen Hammerschlägen gleich an Ort und Stelle zu entfernen, da letzteres dabei gewöhnlich zerstört wird und verloren geht.

Sind aus einem Tone oder aus einem zu feinerem Trümmerwerk zerfallenden versteinerungsreichen Kalkstein zahlreiche kleinere organische Reste ausgewittert, so ist es nötig, die Fläche, auf der sie zu erwarten sind, in der sorgsamsten Weise abzulesen, und man kann es nur, indem man sich lang auf den Boden hinlegt und mit dem Gesicht unmittelbar über ihm ihn aufs sorgfältigste quadratfußweise durchmustert. Schon aus diesem Gesichtspunkte empfiehlt es sich, bei dieser Tätigkeit Kleider anzulegen, an denen nicht mehr viel zu verderben ist.

Kommen die organischen Reste in Form von Steinkernen vor, so ist es durchaus notwendig, neben dem Steinkern, der also die von den Weichteilen des Tieres ehemals eingenommenen Formen gibt, auch den Abdruck

zu sammeln, welcher ein Negativ der äußeren Schalenskulptur gibt. Der Steinkern selbst, ohne den Abdruck, ist in außerordentlich vielen Fällen wertlos, während er anderseits durch Angabe von Muskeleindrücken, Schloßzähnen u. a. sehr zur Sicherung der durch die Außenskulptur ermöglichten Artbestimmung des Restes beitragen kann.

Findet man in Schiefern verkalkte organische Reste, die nur undeutliche Formen zeigen und anscheinend auf mechanischem Wege durchaus nicht von anhaftendem Schiefer befreit werden können, so nehme man sie doch in möglichst großen Mengen mit, da sie nach einer später zu besprechenden Methode auf chemischem Wege vielleicht doch gut freigelegt werden können. Dasselbe ist der Fall mit Kalksteinen, in denen verkieselte Organismen sitzen, die gleichfalls durch Zertrümmerung des Gesteins sich nicht befreien lassen. Auch sie können auf chemischem Wege gut gewonnen werden.

Man notiere genau den Fundort, und wenn in einem Aufschlusse mehrere fossilienführende Bänke übereinander auftreten, so mache man sich eine genaue Skizze von der Schichtenfolge, bezeichne die einzelnen Bänke mit Nummern und gebe den Etiketts neben dem Fundorte auch die entsprechende Gesteinsschichtennummer. Im letzteren Falle beute man die verschiedenen Bänke jede für sich aus und sorge auf das peinlichste dafür, daß die Ausbeute der einzelnen Bänke nicht durcheinanderkommt. Am zweckmäßigsten wickelt man jedes einzelne Stück mit seiner Etikette zunächst für sich in Zeitungspapier ein und macht dann aus den gesamten Stücken eines Horizontes oder einer Bank ein größeres Bündel, welches man, um Verwechslungen vorzubeugen, äußerlich noch einmal mit deutlicher Aufschrift versieht. Man bemerke ferner, ob man die Fossilien vom Anstehenden geschlagen hat, oder ob sie an Schuttkegeln aufgenommen sind, oder ob man sie an einer anderen sekundären Lagerstätte erbeutet hat. Ist der Schuttkegel nur das Resultat der Verwitterung einer einzigen zusammengehörenden Gesteinsfolge, so ist das Sammeln an ihm natürlich ebensogut wie vom Anstehenden, und dasselbe ist der Fall, wenn die einzelnen in dem Schuttkegel vorhandenen Gesteine so verschieden sind, daß ohne Schwierigkeit jedes einzelne auf eine bestimmte Bank des darüber Anstehenden zurückgeführt werden kann.

Wenn an verschiedenen Örtlichkeiten eine und dieselbe Spezies sich wiederholt und zwar gleichgültig, ob in Vergesellschaftung mit denselben oder mit verschiedenen organischen Resten, so nehme man sie doch jedesmal wieder mit oder notiere sich mindestens ihr Vorkommen, da man sonst leicht zu einem falschen Bilde über die an den einzelnen Örtlichkeiten vorhandenen Tiergesellschaften kommen und womöglich gerade die häufigsten leicht zu erwähnen vergessen könnte.

d) Präparation im Freien. Die an Ort und Stelle benutzten Präparationsmethoden können selbstverständlich nur mechanischer Natur sein.

1. Gelockerte Gesteine, in denen die Fossilien größer sind als die durch den Zerfall des Gesteins entstandenen Fragmente, bringt man in großen Mengen in ein Sieb, hält es mit dem unteren Teile am besten in fließendes Wasser und bewegt es dann unter gleichzeitiger drehender Bewegung hin und her, wobei die feineren und tonigen Bestandteile fortgeführt werden, während die gröberen mit den Petrefakten zurückbleiben und leicht gesondert werden können.

2. In manchen Fällen, wenn kein Wasser zur Verfügung steht, kann man das Sieben auch ohne weiteres vornehmen, eventuell unter Beförderung des Zerfalles des Verwitterungsbodens durch sanftes Reiben und Drücken mit einem kurzen Borstenpinsel.

3. Größere Konkretionen, Tongeoden, Septarien und ähnliches kann man oft zweckmäßigerweise in Spaltstücke zerlegen, die auf den Spaltflächen einen großen Reichtum von organischen Resten zeigen, und zwar erhält man dieses Resultat nicht sowohl durch Behandlung mit einem großen Hammer, als vielmehr durch Erhitzen des Gesteins. Die Konkretionen werden einer mäßigen Hitze ausgesetzt, also etwa einem Herdfeuer, Schmiedefeuer oder einem kleinen Feldfeuer, und in ihm erhitzt, natürlich bei weitem nicht so weit, daß etwa eine chemische Veränderung des Gesteins eintreten könnte, und nach dem Erhitzen in kaltes Wasser geworfen. Dabei zerspringen sie gewöhnlich auf denjenigen Flächen, die die größte Zahl von organischen Resten zeigen.

4. Eine Anzahl von Gesteinen ist so mürbe und zerbrechlich, daß man wohl an Ort und Stelle ein Stück gewinnen kann, welches vollständig erhaltene organische Reste zeigt, daß es aber völlig unmöglich ist, dasselbe ohne weiteres mit nach Hause zu nehmen, ohne daß es vollständig in kleine und unbrauchbare Stückchen zerfiele. In diesem Falle ist es durchaus notwendig, das Gestein an Ort und Stelle mit verfestigenden Lösungen zu tränken. Am einfachsten läßt sich dies erreichen mit einer dünnen Gummiarabikumlösung, die nur so viel von dem Klebstoffe enthalten darf, daß sie noch leicht von allen porösen und losen Gesteinen aufgesaugt werden kann. Man muß den Prozeß der Tränkung an verschiedenen aufeinander folgenden Tagen je nach der Größe des Stückes so lange wiederholen, bis es vollständig mit Lösung gesättigt und nach dem Trocknen fest geworden ist. Auch tut man gut, an Ort und Stelle dann keine Versuche zu machen, die in dem Stücke eingeschlossenen Muscheln u. s. w. weiter freizulegen, sondern man verspart auch diese Arbeit am besten für das Haus. Oppenheim[1]) empfiehlt zur Erleichterung der Präparation sehr zerbrechlicher Fossilien aus lockeren grusartigen Tuffmassen und ähnlichen Gesteinen eine vorherige Tränkung mit einer möglichst dünnflüssigen Lösung von Kopallack in Äther,

---

[1]) Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1895. S. 59.

durch welche außerdem die Konturen der Fossilien sehr scharf hervorgehoben werden.

5. Manche Kalksteine wimmeln von großen Versteinerungen, deren Schalenoberflächen aber so innig mit dem Gestein verwachsen sind, daß vollständige Exemplare eine Seltenheit sind. Dahin gehören beispielsweise die Megaloduskalke der alpinen Trias, für die man im Feuersetzen ein Mittel zur Freilegung größerer Bruchstücke oder ganzer Schalen kennen gelernt hat. Um einen größeren Block herum, der reich an diesen gewaltigen Schalen ist, wird ein Feuer entzündet, so daß er längere Zeit einer mäßigen Hitze ausgesetzt wird. Wird hierauf der Block mit einem großen Hammer bearbeitet, so zerspringt er oftmals in der günstigsten Weise auf der Schalenoberfläche der eingeschlossenen Megalodonten.

Ich lasse hier die Anleitung folgen, die Ch. Schuchert bezüglich des Sammelns von Evertebraten l. c. S. 12 gibt, unter Fortlassung bereits im vorhergehenden erwähnter Punkte.

„Sammeln in hartem Gestein: Das Sammeln aus Kalksteinen, Dolomiten, Sandsteinen, Quarziten oder Schiefern erfordert gewöhnlich beträchtliche Arbeit im Zerkleinern und Durchmustern der Gesteine. Wenn sich solche in großen Massen finden, ist es zweckmäßig, zuerst mit einem Schmiedehammer das Gestein in Stücke zu zerlegen, die dann bequem mit einem kleineren Hammer zerschlagen werden können. Gesteine, die niemals größerem Druck ausgesetzt waren, brechen gewöhnlich entlang den Schichtflächen, auf denen die Fossilien am häufigsten sind, und der Sammler sollte deswegen danach trachten, so viel wie möglich die Gesteine auf diesen Linien natürlicher Absonderung zu spalten. Die Schneide des Hammers eignet sich am besten zum Spalten sandiger und schiefriger Gesteine, wie Schiefertone, Tonschiefer oder schiefrige Kalksteine.

Es ist unpraktisch, im Felde eine Auswahlsammlung zusammenzustellen, denn die häusliche Arbeit weckt fast immer den Wunsch, mehr Material für das Studium der Artvariationen zu besitzen. Die selteneren Arten werden bei dieser Sammelmethode oftmals weggeworfen. Es ist sicherer und weniger kostspielig, zu Hause Stücke zu beseitigen, als an einen Fundort zurückzukehren und mehr Material zu holen. Der Sammler sollte immer im Auge behalten, daß Umstände eintreten können, die einen nochmaligen Besuch des Fundortes vereiteln und sollte deswegen den weitestgehenden Gebrauch von sich bietenden Gelegenheiten machen.

Die erste Aufgabe im Felde ist das Sammeln, und die Annahme ist irrtümlich, zu glauben, daß man sich schon im Felde mit den Einzelheiten der Art vertraut machen könne. Für solches Studium ist das Laboratorium der geeignete Ort. Die Fossilien sollten nur so weit untersucht werden, daß man sicher ist, welches Stück gut oder schlecht ist. Besondere Aufmerksamkeit ist den seltenen Arten zuzuwenden, die oft ziemlich häufig

in dünnen Schichten auftreten oder in mehr oder weniger gesonderten Nestern; wenn solche vorkommen, hat man sorgfältig im Streichen der betreffenden Lage nach mehr Material zu suchen.

Sammeln von losen Versteinerungen: Wenn Fossilien lose auf dem Boden gefunden werden, lohnt es sich allemal, auf Händen und Knien über den Boden zu kriechen und nach ihnen zu suchen, wobei nur die schlecht erhaltenen oder die ungünstig zerbrochenen Stücke unbeachtet bleiben. Bei diesem Verfahren sind die kleineren Arten besser zu sehen und gleichzeitig erfolgt die Aufsammlung nicht in überstürzter Weise. Das Aufsammeln nach dieser Methode gewährt viel Vergnügen und bedingt weniger Arbeit, als das Sammeln aus Kalkstein oder Sandstein. Der Sammler sollte an einer solchen Örtlichkeit so lange sitzen, bis alles nutzbare gute Material aufgelesen ist.

Steinkerne und Abdrücke von Fossilien: Gesteine mit Hohlräumen, welche Abdrücke von Organismen sind, sollten immer gesammelt werden, wenn die Hohlräume nicht zu sehr mit Kristallen ausgekleidet sind. Diese Hohlräume werden natürlich beim Aufschlagen zerbrochen, aber alle Stücke sollten unbedingt aufbewahrt werden. Man klebe die einzelnen Teile nicht im Felde zusammen, sondern wickle jeden für sich in Papier und vereinige alle Teile eines Exemplars zu einem besonderen Paket. Das Zusammenfügen kann viel besser im Laboratorium erfolgen und die Notwendigkeit des Mitführens von Leim in der Feldausrüstung wird vermieden. Bloße Steinkerne von Gastropoden und Pelecypoden sind oft von geringem Wert, wenn sie allein gesammelt werden, aber wenn das sie einschließende Gestein, welches die äußere Gestalt und Verzierung der Schale trägt, ebenfalls sorgfältig aufbewahrt wird, sind sie lehrreicher als solche Stücke, die allein das äußere Aussehen zeigen. Abdrücke einzelner Schalen von Pelecypoden sollten immer aufbewahrt werden. Man schlage die Stücke nicht zu klein, da sie Eindrücke der Schloßzähne zeigen können. Jedes Bruchstück einer Bivalve mit einem Teil des Schlosses ist aufzubewahren.

Bei den Gastropoden ist die Form der Mundöffnung eines der wichtigsten Merkmale, aber zugleich bei den aus hartem Gestein gesammelten Exemplaren eines der unvollkommenst erhaltenen. Bei Arten mit langen Kanälen und ausgedehntem äußeren Rande ist jedes Bruchstück dieser Teile sorgfältig aufzubewahren.

Verkieselte Fossilien: Fossilien von kieseliger Natur, die zum Teil aus Kalkstein ausgewittert sind, müssen im Stück gesammelt werden, um zu Hause mit Salzsäure behandelt zu werden. Man prüft die Eignung des Materials für solche Behandlung mit einem Taschenmesser. Wenn das Messer das Fossil nicht kritzt, sondern einen schwarzen Strich erzeugt, eignet es sich zu einem Versuch. Wenn die Fossilien mehr oder weniger

von amorpher Kieselsäure umschlossen sind, kann man natürlich nichts tun, sie freizulegen. Kalkstein mit verkiesten oder verkieselten oder in Phosphat umgewandelten Fossilien können ebenfalls zur Freilegung der Säurebehandlung unterworfen werden. Die Struktur und die Jugendstadien von Graptolithen, Linguluiden, Goniatiten u. s. w. können oft nur auf diesem Wege erlangt werden.

Fossilienführende Schiefer: Wo Fossilien lose in großen Mengen aus Ton oder Schiefer ausgewittert gefunden werden, ist es immer zweckmäßig, eine kleine Menge des verwitterten Schiefers in einem Gefäß so lange zu waschen, bis der Rückstand das Wasser nicht mehr färbt oder trübt. Zeigt sich dieser dabei reich an Fossilien, so ist eine Portion ungewaschenen Tones ebenfalls mitzunehmen, zu dem Zwecke, die Jugendstadien ausgewachsener Formen und mikroskopische Organismen, wie Ostrakoden, Bryozoen und anderes zu erhalten.

Verkalkte Fossilien: Solche Fossilien, die aus Schieferlagen gewonnen sind und mit fest anhängendem Schiefer bedeckt sind, dürfen, wenn sie gut und fest sind, nicht fortgeworfen werden, da viele von ihnen mit Ätzkali gereinigt werden können. Dies ist besonders bei Korallen und dem Inneren von Brachiopoden der Fall.

Fossilienführende Mergel: An kleinen Fossilien reiche Mergel, wie sie häufig im Tertiär auftreten, sind aufzugraben und in große Kästen zu schaufeln, um im Laboratorium ausgelesen zu werden. Solche Fossilien werden gereinigt und gehärtet in der S. 806 unten beschriebenen Art und zwar so bald wie möglich nach ihrem Eintreffen im Laboratorium.

Wichtigkeit genauer Ortsangabe: Der zweite wichtige Grundsatz beim Sammeln von Fossilien ist die sorgfältige Angabe des Fundortes und des Horizontes, dem die Fossilien entnommen sind. Diese Notizen sollten sogleich im Felde in einem Buche niedergelegt werden. Es ist dies von großer Bedeutung, nicht nur für den Geologen, sondern auch für den Paläontologen. Fossilien ohne Fundortsangabe haben im allgemeinen geringen Wert, und werden gewöhnlich von sorgfältigen Forschern weggeworfen. Wenn eine Art häufig und über einen ganzen Hügelabhang zerstreut ist, so ist genau festzustellen, ob alle Exemplare an natürlicher Lagerstätte vorkommen oder von einer Schicht im oberen Teile des Hügels abzuleiten sind. Die einzelnen Schichten eines Hügels können eine sehr lange Zeit des Absatzes repräsentieren. An einer Örtlichkeit, an der mehr als eine fossilführende Zone auftritt, soll man niemals aus ihnen allen bunt durcheinander sammeln, sondern die Fossilien aus jedem Horizont für sich gewinnen und sie gut etikettiert gesondert verpacken.

Fossilien aus Flußablagerungen sind bisweilen sehr wertvoll, aber bei ihrer Aufsammlung ist die Tatsache ihrer Herkunft aus diesen zu notieren.

Ein verschwemmtes Fossil kann zur Entdeckung wichtiger Schichtenausbisse führen oder andere wertvolle Nachweise ermöglichen.

Verpackung von Evertebraten für die Versendung: Wickle jedes Exemplar besonders in Papier, am besten in altes Zeitungspapier oder bei zarten Stücken in Seidenpapier. Wenn die Fossilien klein sind, können mehrere zusammengepackt werden, aber so voneinander getrennt, daß sie sich nicht scheuern, indem man andere Stücke hinzufügt, während man das Paket zusammenrollt. Eine andere gute Methode, welche in manchen Fällen allein Erfolg verspricht, besteht in der Auswahl der kleineren und zarteren Fossilien und in ihrer Verpackung zwischen Leinwand in Zigarrenkisten. Wenn die Sammlung eingewickelt ist, stellt man die einzelnen Päckchen senkrecht in die Kiste, eines neben das andere in Reihen und Schichten, bis sie gefüllt ist. Niemals lege man dünne Stücke wagrecht in die Kiste, da die Erschütterungen während des Transportes sie leicht zerbrechen können. Einen übrig bleibenden Raum in der Kiste fülle man aus mit Stroh, Heu oder Papier und drücke das Füllmaterial vorsichtig, aber fest mit dem Deckel nieder. Man numeriere die Kiste und bewahre ein Inhaltsverzeichnis auf, besonders ein Verzeichnis der Örtlichkeiten, von denen der Fossilieninhalt jeder Kiste herrührt."

II. **Arbeiten im Hause.** a) Die Hilfsmittel:

1. Kurze Kneifzangen mit breit ausladenden Backen und scharfen Schneiden, von verschiedener Form und Größe (Fig. 341 und 342).

Fig. 341.

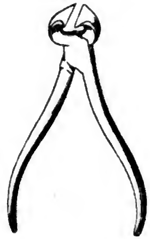
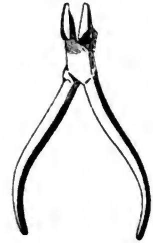


Fig. 342.



2. Harte, spitze Nadeln und Pfriemen.

3. Kleine Meißelchen, etwa von der Form winziger Schraubenzieher, entweder mit einfacher Schneide an der Spitze oder vierseitig zugeschärft (Fig. 343 und 344).

4. Eine Präpariernadel von der Form eines zugespitzten Bleistiftes (Fig. 345).

5. Eine hakenförmig gebogene Präpariernadel (Fig. 346). Die unter 2., 3. und 5. genannten Gegenstände werden zweckmäßig in nicht zu dünnen Holzgriffen fest gefaßt, so daß sie bequem in der Hand liegen.

6. Ein kurzes Stückchen Eisenbahnschiene (als Amboß).

7. Ein mit Sand gefüllter Sack aus grobem, aber festem Stoff, von etwa 1—1,5 dm³ Inhalt. Er dient bei den Präparationen mit Stichel und Meißel

Fig. 343.



Fig. 344.



Fig. 346.



Fig. 347.



Fig. 348.



Fig. 345.



als schmiegsame Unterlage, auf welcher das Gesteinstück fest und ohne Rutschen aufliegt, und von welcher es auch keine Kritzen und andere Beschädigungen annimmt.

8. Bürsten von verschiedener Form und Größe, zum Teil mit steifen Haarborsten, zum Teil von Messingdraht (Fig. 347).

9. Ein kleines Federmesser (Fig. 348).

10. Hämmer von verschiedener Größe.

11. Eine Anzahl von chemischen Reagenzien, unter denen Essigsäure, Salzsäure, Flußsäure, Kali- und Natronlauge die wichtigsten sind.

12. A. W. Rowe empfiehlt[1]) für die Präparation von Spongien, Bryozoen, Echinodermen u. a. aus Kalkstein und Mergel die Benutzung einer rotierenden Bohrmaschine, wie sie die Zahnärzte gebrauchen und rühmt die ausgezeichneten Erfolge, die er durch ihre Anwendung bei der Freilegung zarter Objekte erzielte.

[1]) The preparation and mounting of chalk fossils. Natural Science 1896. S. 303—312.

b) Präparation.

1. Mechanische Methoden: Sie beziehen sich fast ausschließlich auf die weitere Herauspräparierung der im Felde gewonnenen organischen Reste, auf die Freilegung ganzer Fossilien oder auf die Präparation einzelner Teile, wie des Schlosses, der Muskeleindrücke oder bei den Brachiopoden des Armgerüstes im Inneren der Schale. Diese Präparationsarbeit, bei welcher die oben genannten Zangen, Nadeln, Meißelchen, Pfriemen u. s w. in Anwendung kommen, kann natürlich nicht beschrieben werden, sondern muß durch praktische Übung erlernt werden, und ich muß deshalb davon Abstand nehmen, hier näher auf die von vielen Präparatoren zu vollendeter Feinheit ausgebildeten Methoden einzugehen. Nur einige kurze Bemerkungen mögen hier noch ihren Platz finden. So machte z. B. Walther die Erfahrung, daß bei der Präparation von Krinoiden in Kalksteinen das Resultat ein weit besseres wurde, wenn er die Arbeit mit Nadel und Meißelchen nicht an der Luft ausführte, sondern dabei das zu präparierende Stück unter Wasser hielt. Die geringere Differenz in der Dichtigkeit der beiden Medien (Wasser und Kalkstein) ließ die Wirkung der einzelnen Schläge viel sicherer vorauserkennen und ermöglichte ein schnelleres und feineres Arbeiten.

Besteht zwischen dem Gestein und der Versteinerungsmasse des organischen Restes ein größerer Härteunterschied, so kann man oft mit gutem Erfolge das Stück mit der oben angeführten Messingbürste herausbürsten unter gleichzeitiger Benutzung von reichlichem Wasser zur Entfernung des durch die Bürstenstriche erzeugten feinen Gesteinsmehls.

Bei weichem Gestein und etwas härteren Versteinerungen, also beispielsweise bei verkalkten Petrefakten in tonigen Schichten, darf man natürlich nicht die grobe Messingbürste benutzen, sondern wird dazu zweckmäßig eine weiche Zahn- oder Nagelbürste in Anwendung bringen.

Will man die in oben angeführter Weise mit Gummiarabikum- oder Kopalätherlösung getränkten Gesteinsstücke weiter präparieren, zur vollständigen oder teilweisen Freilegung der darin enthaltenen Schalreste, so kann man diese Arbeit durch stückweise Entfernung des einschließenden Gesteins mittels Nadel und Meißel ohne weiteres ausführen, wenn die Erhärtung das ganze Stück in gleicher Weise betroffen hat. Ist aber das Innere des Stückes noch nicht durchtränkt und erhärtet, und bemerkt man dies beim Fortschreiten der Präparationsarbeit, so muß man sofort einhalten, von neuem tränken, trocknen lassen und damit fortfahren, bis alle Teile der Versteinerung hart geworden sind. Schuchert schreibt über die Härtung weicher Fossilien folgendes (l. c. S. 22):

„Fossilien in zerreiblichem Sandstein, eisenschüssigem Sandstein, weichen Tonen oder Mergeln werden gewöhnlich bald zerstört, wenn sie nicht besonders hart sind. Eine Methode der Härtung besteht darin, daß man die Fossilien erwärmt und dann in heißes, dünnes Leimwasser ein-

taucht. Das Leimwasser darf nicht zu dickflüssig sein, da sonst die Exemplare einen ausgesprochenen Glanz bekommen und in feuchter Luft an ihren Behälter ankleben. Erwärmung der Fossilien vor dem Eintauchen befördert das tiefere Eindringen des Leimwassers in das Gestein und schützt zugleich etwas gegen den Glanz des Leims. Eine etwas bessere und schnellere, aber freilich etwas kostspieligere Methode ist der Schellackprozeß. Zu diesem gebraucht man eine sehr dünne Lösung von weißem Schellack, in dem die Fossilien gut angefeuchtet werden, worauf man sie trocknen läßt. So gehärtete Fossilien bleiben niemals am feuchten Finger haften, wie dies die mit Leimwasser befeuchteten Exemplare tun. Dieser Schellackprozeß empfiehlt sich ganz besonders für die Härtung aller weicherer Fossilien aus tertiären Mergeln.

Stanton empfiehlt folgende Behandlung für weiche Fossilien: Bei weichen Fossilien, die zu zerbrechlich sind, um aus dem Muttergestein herausgelöst zu werden, muß der Prozeß der Reinigung und Härtung gleichzeitig erfolgen. Sobald ein kleines Stück der Oberfläche mit Hilfe einer lithographischen Nadel etwas freigelegt ist, wird es mit der Schellacklösung getränkt und getrocknet. Dieser Prozeß wird wiederholt, bis die ganze Oberfläche freigelegt ist, worauf manchmal die Schale ganz vom Muttergestein befreit werden kann. Wenn dies nicht ausführbar ist, muß übrigbleibender Mergel abgeklopft und das Ganze in Schellacklösung gelegt werden."

Sind organische Reste in mehrere Stücke zerbrochen und will man sie wieder kitten, so bedient man sich dazu des in Kapitel 86 angegebenen Kittes.

Um Markasitammoniten vor Zersetzung zu schützen, schlägt E. Maschke[1]) vor, sie nach notdürftiger Befreiung von anhaftendem Ton und ausgeführter Präparation einige Stunden in heiße Natron- oder Kalilauge zu legen, wodurch ein Teil des Tones aufgelöst und etwa schon vorhandene freie Schwefelsäure neutralisiert wird. Schwefelkies und Kalk werden nicht angegriffen, jede Spur der Schale bleibt erhalten. Der im Ton vorhandene Kalk setzt sich als dünner Überzug auf die Ammoniten, so daß sie nach dem Trocknen weiß und unansehnlich aussehen. Will man diesen Überzug entfernen, so bringe man die Ammoniten unbesorgt in verdünnte Salzsäure; die im Ammoniten zurückgebliebene Lauge verhindert eine schädliche Einwirkung. Nun wasche man sie sauber ab. Sind sie einigermaßen getrocknet, so bringe man sie zur inneren Austrocknung in 96prozentigen Weingeist und lasse sie längere Zeit stehen. Alsdann lege man sie mehrere Stunden in verdünnte Schellacklösung (Petersburger Politurlack, Schellack in Spiritus gelöst). Zum Schluß überziehe man sie äußerlich 3—4mal mit etwas stärkerer Schel-

[1]) Zeitschr. d. Deutschen Geol. Ges. 1906. S. 173.

lacklösung. Will man verhüten, daß die Ammoniten glänzend werden, so genügt es, sie kurze Zeit (3—4 Minuten) nach dem letzten Überziehen mit einem Tuche abzutupfen oder sie zwischen den Fingern zu reiben. Durch den Schellack werden alle Poren des Schwefelkieses verstopft und die Ammoniten luft- und wasserdicht abgeschlossen, so daß eine weitere Zersetzung ausgeschlossen ist.

2. Chemische Methoden: Sie beruhen sämtlich auf der verschiedenen Widerstandsfähigkeit des Einschlusses und des einschließenden Gesteins gegen chemische Reagenzien, sind also nur in dem Falle anwendbar, daß beide überhaupt verschieden sind.

Verkieselte Versteinerungen in Kalksteinen können gewonnen werden, indem man sie mit verdünnter Salzsäure (1 Teil der rohen Säure des Handels auf 2—3 Teile Wasser) behandelt. Der Kalk löst sich so lange auf, bis die Säure erschöpft ist. Man wäscht alsdann die entstandene Chlorcalciumlösung gut aus, gibt neue Salzsäure hinzu und fährt damit fort, bis alles Aufbrausen beendigt ist. Im Rückstande hat man alsdann die zumeist ganz und gar herauspräparierten und frei gewordenen verkieselten Schalen. In derselben Weise kann man auch Kieselschwämme präparieren, die in kalkigen oder mergeligen Gesteinen eingeschlossen sind, nur tut man gut, bei ihnen die Verdünnung der Säure noch weiter zu treiben und die letzten Teile der kalkigen Substanz aus dem Inneren der Spongien durch Behandlung mit gewöhnlichem Essig zu entfernen.

Die Behandlung mit Flußsäure kommt in Frage, wenn verkalkte oder verkieste Versteinerungen in kalkfreien Schiefern enthalten sind. Man umzieht das in seinen Konturen auf der Schieferfläche sichtbare Petrefakt, etwa eine Crinoide oder einen Seestern, mit einem niedrigen Walle von Paraffin, und gießt alsdann unter Beobachtung der nötigen Vorsicht und in einem Digestorium Flußsäure in die künstliche Vertiefung hinein, läßt sie in der Kälte mehrere Tage einwirken, wäscht dann unter Zuhilfenahme einer weichen Bürste die Fläche ab und wiederholt das Übergießen mit Flußsäure so lange, bis das Petrefakt so, wie es die Untersuchung verlangt, freigelegt ist. Die Unangreifbarkeit des verkalkten Restes durch Flußsäure beruht darauf, daß er beim ersten Angriff der Säure sich mit einer dünnen, gegen Flußsäure unempfindlichen und daher schützenden Fluorcalciumdecke überzieht. Die auf diese Art präparierten Objekte erfreuen sich leider keiner langen Haltbarkeit, sondern zerfallen nach einiger Zeit, für wertvolle Objekte ist das Verfahren demnach ungeeignet.

Eine rasche und gründliche Reinigung der Oberfläche von Korallen erzielt man, wenn man sie mit kalter, roher, konzentrierter Salzsäure übergießt. Die Salzsäure greift nur einen Moment die Oberfläche ganz gleichmäßig an; dann erstarrt die Masse gelatinös, indem sich ein in konzentrierter Säure unlösliches, sehr voluminöses, basisches Chlorcalciumhydrat bildet, welches weitere

Angriffe der Säure verhindert. Nach dem Abwaschen erscheint die Oberfläche des Stückes ausgezeichnet gereinigt.

Um die Kelche von Korallen oder das Innere von Schalen und anderen Objekten von dieselben erfüllendem hartem Tone zu befreien, wendet Schuchert Kaliumhyhroxyd in fester Form an. Diese Methode ist von Böse und v. Vigier näher studiert worden, die darüber[1]) folgende Angaben machen:

„Das Ätzkali eignet sich am besten zum Präparieren von Versteinerungen mit kalkiger Schale, die in hartem Ton oder Mergel eingehüllt sind, auch in dem Fall, daß der Mergel stark kalk- oder kieselsäurehaltig ist. Ganz besonders zweckmäßig ist die Anwendung zum Reinigen von Fossilien mit feinen und komplizierten Verzierungen, welche beim Gebrauch des Meißels und der Nadel leicht verletzt würden. Wir haben Ätzkali besonders zum Reinigen von Gastropoden mit zarter Ornamentierung, von Bivalvenschlössern, von Rudisten mit sehr scharfen Rippen, Seeigeln und Korallen angewendet; doch benutzten wir es ebenfalls, wenn es sich darum handelte, die Oberfläche von Bivalven und Ammoniten schnell zu reinigen.

Wir nahmen gewöhnlich zuerst eine möglichst konzentrierte Lösung von Ätzkali, die meistens den größten Teil des Tones oder Mergels entfernt. Wenn man die Lösung heiß anwendet, so wirkt sie noch schneller und vollkommener, doch muß man beim Kochen der Fossilien in Ätzkalilösung große Vorsicht anwenden, da sonst leicht die kalkige Schale der Versteinerungen angegriffen wird. In der kalten konzentrierten Lösung läßt man die betreffenden Gegenstände 24—48 Stunden. Dann werden sie herausgenommen und in Wasser gewaschen, dem man einige Tropfen Salzsäure zusetzt. Beim Waschen der Fossilien muß man Gummihandschuhe oder wenigstens Gummifinger benutzen, da das Ätzkali die Haut rasch zerstört.

Nach dieser ersten Behandlung mit Ätzkali wird jede Versteinerung daraufhin untersucht, ob an einzelnen Stellen größere Mengen von Mergel zurückgeblieben sind. Man legt dann das betreffende Objekt in eine Eisen-, Email- oder Steingutwanne mit dem zu reinigenden Teil nach oben und bedeckt den Mergel mit kleinen Stücken von Ätzkali. Man läßt dieses nun 12—24 Stunden einwirken, wäscht dann die Fossilien von neuem in angesäuertem Wasser und bürstet den Mergel mit einer steifen Bürste möglichst vollständig herunter. In derselben Weise fährt man mit der Anwendung von Ätzkali und Waschen so lange fort, bis das Objekt vollkommen rein ist. Die Lösung, welche sich in der Wanne bildet, kann vorteilhaft zur ersten Reinigung weiterer Objekte verwendet werden. Da das Ätzkali auch den Kalk etwas (1 Prozent) löst, so muß man Vorsicht walten

[1]) Zentralbl. f. Min. 1907. S. 305—313.

lassen, wenn man es bei Objekten mit feiner Struktur anwendet. In diesem Falle sollte man soviel wie möglich mit kalter Ätzkalilösung arbeiten, da man dabei das Fortschreiten der Reinigung besser beobachten kann; die Lösung greift übrigens den Kalk kaum an. Ähnliches ist bei der Anwendung heißer Ätzkalilösung zu beobachten. Wenn man Versteinerungen in Ätzkalilösung kocht, so darf man sie nie zu lange darin lassen, sondern muß sie häufig herausnehmen und waschen, um so den Vorgang kontrollieren zu können. Wendet man diese Vorsichtsmaßregeln an, so kann man zahlreiche Versteinerungen auf die beschriebene Weise in 2—3 Tagen reinigen, deren Präparierung mit Meißel und Hammer Wochen in Anspruch nähme, ohne daß man zu einem wirklich guten Resultat gelangte.

Nachdem man nun die Reinigung der Fossilien mit Ätzkali vollständig durchgeführt hat, wäscht man diese in Wasser, dem einige Tropfen Salzsäure zugesetzt sind. Dieses angesäuerte Wasser trägt ebenfalls zur Lösung des Mergels bei; bei Anwendung reinen Wassers zum Waschen schreitet die Reinigung der Fossilien bedeutend langsamer vorwärts. Natürlich darf die Menge der hinzugefügten Salzsäure (diese wirkt besser als Schwefel- oder Salpetersäure) nicht so groß sein, daß der Kalk der Schalen dadurch angegriffen würde; doch sollte die Menge auch nicht zu gering sein; man findet das richtige Maß leicht durch die Praxis. Das angesäuerte Wasser muß während 2 oder 3 Tagen möglichst häufig gewechselt werden. Nach dieser Zeit läßt man die Fossilien an der Luft trocknen. Falls die Versteinerungen nicht genügend gewaschen sind, bildet sich auf ihrer Oberfläche eine weiße Haut von kohlensaurem Kali; diese kann man durch Bürsten oder Waschen mit angesäuertem Wasser entfernen; im übrigen ist das Vorhandensein dieser Schicht vollständig irrelevant, da sie die Ornamentierung oder Struktur nicht verdeckt.

Schuchert erwähnt, daß man Ätzkali nicht bei rissigen Objekten anwenden sollte, da es bis ins Innere vordringt und ein Zerfallen der Objekte auf den Spalten veranlaßt. Das bezieht sich natürlich nur auf sehr zarte Objekte, während man rissige Bivalven, Gastropoden etc. ruhig mit Ätzkali behandeln kann. Wir behandeln solche Objekte einzeln in Porzellanschalen; wenn man genügend Vorsicht walten läßt, so kann man nach dem Reinigen die Stücke des zerbrochenen Objektes ohne Schwierigkeit zusammensetzen. In diesem Fall wendet man am besten zuerst kalte, dann heiße Lösung an. Der Gebrauch von Ätzkalistücken bewirkt ein Auseinandersprengen rissiger Objekte.

Diese Eigenschaft des Ätzkali, daß es rissige Objekte auseinandersprengt, läßt sich vorteilhaft verwerten. Das Ätzkali veranlaßt sozusagen ein Quellen des Mergels und diese Eigenschaft macht es häufig möglich, die beiden Schalen eines Lamellibranchiaten voneinander zu trennen; besonders haben

wir dies bei der Präparierung von dickschaligen Bivalven (Austern, Chamiden, Rudisten etc.) benutzt. Wenn man die Schale einer Bivalve öffnen will, so reinigt man zuerst den Rand ringsherum durch Auflegen von Stückchen Ätzkali; sobald der Rand vollkommen rein ist, sucht man diejenigen Stellen, wo die Schalen etwas klaffen, und läßt dort Ätzkali einige Tage lang einwirken. Gewöhnlich gelingt es bei einiger Ausdauer, die Bivalven vollständig zu öffnen."

Über die Herstellung künstlicher Abdrücke gilt das im 86. Kapitel für fossile Pflanzen Bemerkte. Außerdem gebe ich, was Ch. Schuchert (l. c. S. 27) darüber schreibt, im folgenden wieder:

„Anfertigung von künstlichen Abdrücken. Wenn das Stück groß und flach ist, wie große kambrische Trilobiten, so kann man gute Abdrücke erhalten durch Anwendung von Pariser Pflaster. Liegt das Stück in einem harten Schiefer oder Kalkstein, so befeuchtet man es gut mit Wasser oder einer dünnen Lösung von grüner Seife, bevor man das flüssige Pariser Pflaster aufträgt, um zu verhüten, daß es an dem Fossil anklebt.

Um einen Abdruck des Schlosses von Muscheln oder von einer zierlichen Oberflächenzeichnung von nicht zu tiefen Objekten zu erhalten, ist Guttapercha sehr gut. Diese ist erhältlich in kleinen, dünnen Plättchen von rötlicher Farbe. Man bricht ein Stück von der doppelten Größe des Abdruckes ab, erwärmt es in heißem Wasser und drückt es dann mit dem Daumen in den angefeuchteten Abdruck, den man anfeuchtet, um ein Ankleben zu vermeiden. Zur Erlangung eines guten Abdruckes muß man einen beträchtlichen Druck anwenden, das Überstehende klopft man nach der Mitte zusammen, da sonst nicht genug Guttapercha in die tieferen Teile des Abdruckes hineinkommt. Wenn der Abdruck sehr tief ist und oben vorstehende Ränder besitzt, so kann man sehr gute Abdrücke erhalten durch Anwendung einer Komposition, wie sie die Zahnärzte zum Abformen des Gebisses benutzen (Molding composition for dental purposes Nr. 2, medium). Dies kommt in den Handel in Platten in ½-Pfund-Kisten und ist in jeder zahnärztlichen Handlung zu erhalten. Es wird ebenfalls durch heißes Wasser formbar gemacht. Diese Masse wird in derselben Weise zur Anfertigung von Abdrücken benutzt wie die vorige und da sie nach dem Erwärmen weicher ist als Guttapercha und länger in diesem Zustand verharrt, so kann sie leichter in tiefe Hohlräume eingepreßt und aus unterschnittenen Stellen herausgebogen werden. Abdrücke von Guttapercha und Modelliermasse werden im Laufe der Jahre sehr bröckelig und zerbrechen dann leicht. Wünscht man Dauerpräparate, so sind Abdrücke und Ausgüsse aus Pariser Pflaster zu wählen."

Kapitel 93.

Sammeln und Präparieren von Wirbeltierresten.

Die folgenden Mitteilungen beziehen sich auf die Gewinnung und Präparation solcher Wirbeltierreste, die in losen, also meist quartären oder tertiären Schichten vorkommen, und beschränken sich auf deutsche Vorkommnisse. Diejenigen Knochen, die in älteren, festen Gesteinen, Sandsteinen oder Kalksteinen, eingeschlossen sind, unterscheiden sich in der Art und Weise der notwendigen Präparation kaum von den in gleichen Schichten eingeschlossenen Mollusken und anderen hartschaligen wirbellosen Tieren, über die im vorigen Kapitel Näheres mitgeteilt ist.

Vereinzelte Reste von Wirbeltieren können sich in allen möglichen Ablagerungen finden, in größerer Menge aber treten sie nur in Ablagerungen von bestimmter Entstehung und bestimmter petrographischer Zusammensetzung auf; natürlich ist nach diesen Faktoren auch der Charakter der Faunen einzelner Örtlichkeiten verschieden.

1. In marinen Ablagerungen finden sich fast ausnahmslos nur Reste mariner Wirbeltiere. Fische und Seesäugetiere, und selbst in solchen marinen Schichten, in denen zahlreiche Reste von Landpflanzen auf die Nähe der ehemaligen Küstenlinie hinweisen, gehören die Knochen von Landtieren zu den Seltenheiten. Tonige und kalkige marine Bildungen sind reicher an Knochenresten als sandige und konglomeratische. In Tiefseeablagerungen finden sich nur Zähne von Haifischen sowie Labyrinthe von Walfischen häufiger.

2. Im Gegensatze dazu sind unter den fluviatilen Sedimenten die Kiese, überhaupt die gröberen Ablagerungen fast die alleinigen Träger von Wirbeltierknochen, während feinere Sande oder gar tonig-schlickige Bildungen fast immer frei davon sind. Der Grund liegt natürlich darin, daß ein Fluß, der nur noch feines Material ablagern kann, die Kraft zum Transporte der Knochen nicht besitzt, letztere vielmehr nur da ablagern kann, wo seine Strömungsgeschwindigkeit für die Fortbewegung größerer Gerölle noch ausreicht. Aus diesem Grunde fehlen in Flußkiesen auch kleinere, zarte Knochen, da solche während des Transportes entweder ganz zerrieben oder bis zur Unkenntlichkeit entstellt werden.

3. Häufige Träger von Resten von Wirbeltieren sind die limnischen Gesteine, die in größeren oder kleineren Becken stehenden, süßen Wassers zum Absatze gelangt sind. Die Ausfüllungsmasse solcher Seebecken ist zumeist organischen Ursprunges: feinerdiger Süßwasserkalk, kieselige Diatomeenerde, dunkler oder grünlicher organischer Faulschlamm, zuweilen auch ein an Eisenocker reicher Schlamm; den Schluß der Ausfüllung von Süßwasserbecken macht gewöhnlich Torf oder eine ähnliche Humusbildung.

In lakustrinen Gesteinen eingeschlossen findet man die Reste sowohl der Tiere, die in dem betreffenden Wasserbecken gelebt haben (Fische, Schildkröten, Bieber), als auch solcher Landtiere, die darin ihren Tod gefunden haben (besonders häufig Cerviden).

4. In Zusammenhang damit sind ferner diejenigen Kalkablagerungen zu nennen, die der kalkabscheidenden Tätigkeit von Quellen ihren Ursprung verdanken und als Kalktuff bekannt sind; sie sind in vielen Fällen eine reiche Fundstätte von Wirbeltieren, mit Ausnahme von Fischen: auch schließen sie häufig Objekte ein, die sonst kaum der Erhaltung fähig sind, wie Federn und Eier von Vögeln.

5. Unter den vom Winde abgelagerten Gesteinen ist der Löß der wichtigste Träger von Wirbeltierresten, und zwar schließt er nur Landtiere ein. Die Knochenführung des Löß ist sehr ungleichwertig; in ausgedehnten Gebieten ist er völlig frei von solchen, und in anderen liefert jede Grube dauernd Funde; bestimmte Gesetze dafür aber lassen sich kaum aufstellen.

6. Die größten Mengen von Knochen auf kleinstem Raume und die größte Zahl von Spezies an einer Örtlichkeit pflegen die Knochenablagerungen in Höhlen, Spalten und Klüften von Kalk und Gipsgebirgen zu liefern. Diese Örtlichkeiten dienten den Tieren zur Wohnung, hierher schleppten sie ihre Beute, hierher zogen sie sich zurück, wenn sie dem Verenden nahe waren. An solchen Örtlichkeiten findet man von den Bewohnern dieser Schlupfwinkel oftmals ganze Skelette und gewöhnlich die Reste zahlreicher Individuen, von den Beutetieren gewöhnlich nur größere, zerbissene Knochen. Auch Reste von Vögeln sind in solchen Ablagerungen häufiger; sie rühren teils von Eulen her, die hier ihre Schlupfwinkel hatten, teils von deren Beute. Besonders gut erhaltene zarte Knöchelchen, Schädel, Unterkiefer u. a. von ganz kleinen Tieren findet man an solchen Stellen klümpchenweise als Rückstand der Gewölle von Eulen, welche bisweilen in ziemlichen Mengen angehäuft sind. Zu diesem Typus von Wirbeltiervorkommnissen gehören auch die bohnerzführenden Klüfte und Taschen des süddeutschen Jura mit ihrer reichen Fauna tertiärer Säugetiere.

Eine besondere Prüfung verdient die Frage, ob die Knochenreste einer Ablagerung sich auf primärer oder sekundärer Lagerstätte befinden. Wo man ganze Skelette oder wenigstens Gruppen zusammengehöriger Knochen beieinander findet, da kann man mit Sicherheit auf ein primäres Vorkommen schließen. Sind die Knochen oder Zähne vereinzelt, zeigen sie Spuren von Abrollung, ist ihr Inneres mit einem anderen Gestein ausgefüllt als dasjenige, in dem sie eingeschlossen sind, so ist der Schluß auf sekundäre Lagerstätte gestattet. In groben Gesteinen (Kies, Konglomerat) wird man vorwiegend verrollte Knochen, in feinkalkigen oder tonigen vorwiegend ursprüngliche Ablagerung erkennen. Auch die in Kalktuff, sowie in Höhlen, Spalten und Klüften sich findenden Knochen liegen meist auf primärer

Lagerstätte; indessen zeigen Sand- und Kiesablagerungen doch bisweilen an, daß die Spalte zeitweilig von fließendem Wasser benützt wurde, und dann ist Vorsicht nötig.

Sehr verschieden ist der Erhaltungszustand der Knochen, und zwar ist er abhängig von der petrographischen Beschaffenheit des Muttergesteins. In kalkfreien oder kalkarmen Gesteinen wird ein Teil der Kalksubstanz des Knochens gelöst, derselbe wird dadurch leichter und verliert ganz bedeutend an Festigkeit, vermag infolgedessen beim Trocknen seine Form viel weniger zu bewahren, sondern wird rissig und bröckelig. In kalkreichen Gesteinen dagegen verlieren die Knochen nicht nur nichts von ihrer Substanz, sondern es findet sogar noch eine Zufuhr von kohlensaurem Kalke statt, durch welche die kleinen Hohlräume des Knochens ausgefüllt werden. Dieser wird dadurch spezifisch schwerer und gewinnt außerordentlich an Haltbarkeit und Widerstandsfähigkeit. Es ist daher in den meisten Fällen schon nach dem Gewichte zu unterscheiden, ob ein Knochen aus einem Kalklager stammt oder ob er z. B. in Torf eingebettet war. Auch die Farbe ist in solchem Falle verschieden: die Humussäuren des Torfes verleihen den Knochen, Geweihen und Zähnen ein mehr oder weniger braunes Aussehen, während die aus kalkigen Schichten oder aus Kieslagern stammenden Knochen eine hellere, gelbliche Farbe besitzen. Sehr eigentümlich ist das Verhalten der aus Elfenbein bestehenden Mammutstoßzähne in manchen Kieslagern: das Elfenbein wird darin so weich, daß es sich wie Butter kneten läßt, erlangt aber trotzdem an der Luft seine ursprüngliche Härte vollkommen wieder.

Die quartären fossilen Wirbeltiere liegen oftmals nicht tief unter der heutigen Oberfläche; es ist infolgedessen nicht ausgeschlossen, daß in die gleiche Schicht auch Knochen von viel jüngeren Tieren gelangen, nämlich von solchen, die in der Erde leben, tief gehende Gänge sich wühlen und in diese ihre Beute schleppen, auch selbst darin verenden. Es gehören dahin Dachs, Fuchs, Hamster, Kaninchen und eine ganze Reihe von kleinen Nagetieren. In den meisten Fällen ist es nicht schwer, diese rezenten Knochen von den fossilen zu unterscheiden; die Unterschiede im spezifischen Gewichte, in der Farbe und im äußeren Ansehen sind gewöhnlich so groß, daß man ohne weiteres die Spreu vom Weizen wird sondern können. Dieselbe Sorgfalt ist natürlich auch anzuwenden, wenn es sich um die Feststellung handelt, ob Knochenvorkommnisse in wenig von der Erdoberfläche entfernten Schichten überhaupt fossil oder rezent sind[1]).

[1]) Nach einer Angabe von A. Carnot (cf. Neues Jahrb. 1893. I. S. 539) haben fossile Knochen einen beträchtlich (10—15mal) größeren Fluorgehalt, wie rezente. — In manchen Fällen wird man auch die durch Erbitzen festzustellende Anwesenheit von Leim oder anderen organischen Substanzen zur Erkennung des jugendlichen Alters zweifelhafter Knochen benutzen können.

Wer knochenführende Schichten aufzufinden und auszubeuten in die Lage kommt, wird wohl in den weitaus meisten Fällen die gesamte Ausbeute mitnehmen; da aber doch der Fall eintreten kann, beispielsweise auf Reisen, daß man nicht in der Lage ist, große Mengen und besonders schwere Knochen mitzunehmen, so sei hier kurz einiges über die zu treffende Auswahl angedeutet. Diese richtet sich nach der größeren oder geringeren Eignung der Skeletteile zur Bestimmung von Gattung und Spezies des zugehörigen Tieres. Bei Säugetieren ist die Bestimmung am leichtesten und sichersten nach den Zähnen. Auf diese ist also in allererster Linie zu fahnden. Dann folgen die Schädelknochen, die großen Extremitätenknochen, die Hand- und Fußknochen und dann erst Wirbel, Becken, Schulterblatt, Rippen. Von den Wirbeln sind besonders die Halswirbel zu sammeln. Bei den Vögeln folgen die Skeletteile ihrer Wichtigkeit nach in folgender Reihenfolge: Schädel, Extremitäten, Sternum, Becken, Wirbel. Bei Amphibien und Reptilien wird man kaum jemals in die Lage kommen, eine Auswahl treffen zu müssen. Bei den Fischen sind die Schuppen ganz vortrefflich zum Bestimmen geeignet; da diese zudem in den meisten Fällen vortrefflich erhalten sind, so achte man mit großer Sorgfalt auf sie.

Wir wenden uns nunmehr zur Besprechung der Art und Weise, wie man an Ort und Stelle die aufgefundenen Knochenreste behandelt:

1. Große Knochen, die in kalkigen Schichten eingebettet sind, befreit man oberflächlich vom anhaftenden Gesteine und verpackt sie, in Moos eingewickelt oder wie sie sind, in Papier. Bemerkt man, daß sie zu zerfallen Neigung besitzen, oder daß sie sehr mürbe sind, so läßt man sie vorläufig im anstehenden Gestein, legt sie oberflächlich frei und läßt sie an Ort und Stelle etwas austrocknen. Nur muß man Sorge tragen, daß sie nicht direkt von der Sonne getroffen werden, da sie sonst einseitig zu schnell trocknen und aufplatzen. Die, wie oben angegeben, butterweich gewordenen Elfenbeinzähne müssen längere Zeit trocknen; nur sehr selten wird es möglich sein, sie so freizulegen, daß sie an Ort und Stelle langsam, ohne Einwirkung der Sonne, austrocknen können. In allen anderen Fällen muß man sie in Stücke zerschneiden, was sehr leicht ist, die Stücke in feuchtem Sande in Körbe packen und so in einem Kellerraume monatelang ganz langsam austrocknen lassen.

2. Wesentlich anders muß man beim Sammeln kleiner Knochen, insbesondere kleiner Säugetierschädel verfahren. Sie finden sich gewöhnlich an den oben unter 5. und 6. beschriebenen Örtlichkeiten, meist also in einem staubartig feinen, gewöhnlich kalkhaltigen Löß oder Lößlehm, und zerfallen gewöhnlich, wenn man sie ohne weiteres aus dem Muttergestein herausnehmen will, in kleine Bruchstücke. Wenn man in einer Lößwand oder auf der Bruchfläche eines größeren Stückes kleine Ecken von Schädel- oder anderen Knochen kleiner Nager hervorragen sieht, so übergießt man deren Umgebung mit einer Gummiarabikumlösung, die so dünn und

wäßerig sein muß, daß sie vom Gestein mit Leichtigkeit aufgesaugt wird. Dann überläßt man das Stück mindestens einige Stunden lang sich selbst, bis das Wasser verdunstet und der Löß durch den Gummi verfestigt ist, löst die den Skeletteil einschließende Partie des Gesteins vorsichtig heraus und wickelt ihn sorgfältig in Watte, Moos oder etwas ähnliches und dann in Papier ein. Ist das lehmige Gestein einer solchen Kluft- oder Spaltenausfüllung sehr reich an kleinen Säugerknochen, so ist es unter Umständen vorteilhaft, eine größere Menge des Gesteins in großen Stücken mitzunehmen und zu Hause einer genauen Untersuchung zu unterwerfen.

Hat man ein Profil auszubeuten, in welchem mehrere knochenführende Horizonte übereinander vorkommen, so ist auf das strengste darauf zu achten, daß die aus jeder einzelnen Schicht stammenden Fundstücke alsbald so bezeichnet werden, daß die Zusammengehörigkeit zu einer Schicht keinerlei Zweifel unterworfen sein kann. Auch wenn die Schicht petrographisch zwar einheitlich, ihre Mächtigkeit aber eine bedeutende ist, oder schon eine vorläufige Untersuchung lehrt, daß der Charakter der eingeschlossenen Fauna in den verschiedenen Teilen der Schicht wechselt, so ist die Ausbeutung lagenweise vorzunehmen und bei jedem einzelnen Stücke genau zu notieren, welcher Lage es entnommen ist. Von ganz besonderem Werte wird eine derartig scharfe Unterscheidung dann, wenn in der Schichtenfolge sich Reste des Menschen finden, seien es nun Skeletteile oder Spuren seiner Existenz, wie Waffen, Geräte, zerschlagene Röhrenknochen und andere Küchenabfälle, Feuersteinsplitter, Urnenscherben, Holzkohlen, angebrannte Steine u. a. Es ist selbstverständlich, daß dann auch alle die genannten Reste menschlicher Tätigkeit auf das sorgsamste aufzubewahren und so zu bezeichnen sind, daß man erkennen kann, welche Tierreste mit ihnen zusammen vorkamen. — Übrigens hüte man sich, Fraßrinnen von Schnecken, die sehr häufig an Knochen vorkommen, sowie auch die Kauspuren der Raubtierzähne für Zeichen menschlicher Bearbeitung zu halten.

In Süßwasserkalk und Diatomeenerde findet man häufig Reste von Fischen. Die Körper sind gewöhnlich ebenso wie die Fischreste in älteren Gesteinen blattartig zusammengedrückt. Solche Stücke sind sorgfältig in Seidenpapier, dann in Watte und hierauf in gröberes Papier zu verpacken. Die auf der pappeartigen Diatomeenerde liegenden Fischreste pflegen sich gut zu halten; dagegen sind die im staubigen Süßwasserkalke liegenden möglichst bald in einem Pappe- oder Glaskasten mit Gips einzugießen und so zu befestigen. Die viel häufiger wie ganze Fische sich findenden Schuppen lege man alsbald in dünne Glasröhrchen und fixiere sie in diesen durch einen Wattebausch. Die meisten Schuppen bedürfen keiner weiteren Behandlung, nur die radialstrahligen Cyprinoidenschuppen zerfallen leicht in Stücke und werden deshalb am besten zwischen zwei Glasplatten in Kanadabalsam aufbewahrt.

Zur Verpackung von Knochenresten benutzt man je nach ihrer Größe und Derbheit Moos, Holzwolle, Watte und Papier. Kleinere Stücke legt man am besten sogleich in einseitig geschlossene Glasröhren und fixiert sie in ihrer Lage durch aufgeschobene Wattepfropfen. Beim Verpacken in Kisten hat man, wie bei allen Sammlungsgegenständen, streng darauf zu achten, daß die einzelnen Päckchen so fest liegen, daß sie ihre gegenseitige Lage nicht verändern können.

Die Herrichtung der gesammelten Knochen und Zähne für die Untersuchung und sammlungsmäßige Aufbewahrung erfordert noch einige Maßregeln. Die heimgebrachten Knochen läßt man zunächst langsam austrocknen. Sie dürfen im Trockenraume weder der direkten Sonnenwirkung ausgesetzt werden, noch darf der Trockenprozeß unter Zuhilfenahme künstlicher Wärme erfolgen; ein Zerplatzen der Knochen würde in beiden Fällen die Folge sein. Das Trocknen muß vielmehr in einem Raume mit gleichmäßiger Temperatur und mäßig feuchter Luft, also etwa in einem nicht zu nassen Keller, erfolgen. Nach dem Trocknen reinigt man mit schärferen oder weicheren Bürsten die Knochen vom anhaftenden Gestein, natürlich ohne Anwendung von Wasser. Es ist sehr zu empfehlen, das anhaftende Gestein an für die Artbestimmung gleichgültigen Stellen des Knochens sitzen zu lassen, damit die Natur des Vorkommens immer wieder einwandslos festgestellt werden kann.

Die gereinigten Knochen legt man darauf einige Minuten in eine heiße Gelatinelösung, die so dünnflüssig sein muß, daß sie mit Leichtigkeit von der Knochensubstanz aufgesaugt wird. Nach dem Trocknen sind die Knochen fertig zur Aufbewahrung. Sollten sie etwa später noch Neigung zum Zerplatzen zeigen, so muß man die Tränkung mit Gelatinelösung wiederholen. Zum Kitten zerbrochener Knochen nimmt man am besten gewöhnlichen Leim. Hat man von einem zerbrochenen Geweih oder Knochen nur einen Teil der Bruchstücke, so wird man zur Erzielung größerer Haltbarkeit die Lücken ausfüllen müssen. Man kann dazu einen mit Leimwasser angerührten Gipsbrei nehmen oder einen Brei, den man sich aus dem einschließenden Gesteine mittelst Leimwasser herstellt. Die ergänzten Stellen sind als solche durch abweichende Färbung kenntlich zu machen; ganz zu verwerfen ist der Versuch, die Flickarbeit durch allerlei Mittelchen zu vertuschen. In Geweihe und große Röhrenknochen wird man vor dem Kitten zweckmäßig eine Stütze einlegen, die das Abbrechen des angekitteten Stückes hindert. Ein Holzpflock empfiehlt sich dazu mehr, als ein eiserner Stift, der leicht rosten und durch Volumenvermehrung den Knochen sprengen kann.

Die Erfahrungen amerikanischer Geologen hat Ch. Schuchert (a. a. O., S. 16) wie folgt zusammengestellt:

„Zu der Ausrüstung beim Sammeln von Evertebraten kommt für fossile Wirbeltiere noch Hacke und Spaten dazu zum Graben, einige große Stein-

meißel zur Freilegung von Knochen aus hartem Gestein, ein großer Sack Mehl, sehr viel Leinwand, einige Gefäße mit präpariertem Leim und etwas Gummi arabikum zum Tränken weicher Knochen.

Knochen können in der Regel nicht so leicht gewonnen werden, wie Evertebraten oder Pflanzen. Natürlich lassen sich lose Exemplare leicht sammeln; aber gewöhnlich sind sie nicht gut erhalten. Die Schwierigkeiten beim erfolgreichen Sammeln von Knochen sind zahlreich, beginnen mit dem Funde eines Skelettes und steigern sich, wenn ein großes Tier ausgehoben werden soll. Personen ohne Übung im Ausheben von Wirbeltieren, die große Exemplare finden, müssen mit der Ausgrabung langsam und vorsichtig beginnen oder noch besser das Skelett ruhig liegen lassen, die freigelegten Teile wieder mit Erde bedecken und einem erfahrenen Sammler eines Museums Nachricht geben. Vorher soll man den Fund so weit prüfen, um eine annähernde Beschreibung der Größe und der Lagerungsverhältnisse geben zu können. Vollständige Skelette sind selten, und abgesehen von dem Falle, daß die Tiere in Sümpfen zu Grunde gegangen sind, sind sie meist mehr oder weniger zerbrochen, durch die Tätigkeit des Wassers oder durch Raubtiere beschädigt. Gute Skelette gehen oft verloren durch den Mangel an Kenntnis der eigentümlichen Methoden ihrer Bergung. Von dem amerikanischen Elefanten und Mastodon werden in den Vereinigten Staaten viel Skelette gefunden und doch finden sich nur wenige gute in den Museen des Landes. Zähne sieht man oft, aber andere Teile gehen gewöhnlich verloren. Wer die Knochen eines solchen Ungeheuers findet, gräbt sie gewöhnlich aus und legt sie zum Trocknen auf den Boden, wobei sie in wenig Tagen zu Grunde gehen, da die Knochen, wenn sie nicht mit Gummi oder Leimlösung präpariert sind, in der Sonne und an der Luft zerbröckeln. Der Schädel eines Mastodon oder Elefanten, der von einem Ungeübten gefunden wird, wird gewöhnlich zerstört, wegen seines großen Gewichts und der weichen Beschaffenheit des Bodens, in welchem er liegt. Wenn die großen Backzähne sichtbar sind, wird erhebliche Neugierde erweckt und dann treten gewöhnlich Schmiedehämmer oder andere derartige Instrumente in Tätigkeit, durch die der Schädel zerbrochen und die Zähne freigelegt werden. Diese werden manchmal von Personen gesehen, die eine Kenntnis ihres wissenschaftlichen Wertes besitzen, aber fast immer nach der Zerstörung des wertvolleren Schädels. Die Zähne mögen einige Dollar wert sein, aber in Verbindung mit dem Schädel würden sie einen weit größeren Preis gebracht haben. Die Knochen eines jeden Individuums sind gesondert und von anderen getrennt aufzubewahren. Man sammle alle losen Knochen und die Bruchstücke von solchen, die an der Oberfläche liegen, bevor man den Rest des Skelettes ausgräbt. Vereinzelte Knochen, an denen wenigstens ein Ende vollständig ist, sind der Aufbewahrung wert. Wenn der Bruch frisch ist, sollten alle Stücke gesucht und aufbewahrt werden.

Kleine, mehr oder weniger vollständige Skelette sind nicht so schwer zu behandeln wie große. Befinden sie sich ganz oder teilweise in natürlicher Lage, so nehme man sie nicht Stück für Stück weg, sondern lasse das Skelett zusammen. Exemplare in natürlicher Lage der Knochen sind von großer Wichtigkeit für den Anatomen. Hat man ein solches entdeckt, so entferne man genügend viel Gestein oberhalb, um die Lage und Ausdehnung kennen zu lernen. Im festen Gestein besteht die einzige Aufgabe darin, den Block freizulegen und genügend Gestein übrig zu lassen, welches dem Skelett Festigkeit verleiht. Mit diesem Gestein lege man das Skelett mit oberflächlich freigelegten Knochen vollständig in Gummilösung, bedecke das Ganze vollständig mit einer Lage von dünnem, geöltem Papier, lege quer über die ganze Länge des Exemplars zwei oder mehrere Eisenstäbe oder Holzstücke und stelle dann eine genügende Menge dicken Pariser Pflasters her, um damit eine feste Masse von einigen Zoll Dicke auf der gesamten Oberfläche des Exemplars herzustellen. Wenn dieses Pflaster aufgebracht ist, kann die Untergrabung beginnen, doch läßt man genug Gestein darin, um dem Block Festigkeit zu geben. Wenn das Skelett im Schlamm liegt und nicht groß ist, so tut man gut, das Ganze mit Pflaster zu umkleiden. Auf keinen Fall vergesse man bei der Verwendung von Pflaster, zuerst Eisenstäbe oder Holzstöcke zur Befestigung der Länge nach auf das Exemplar zu legen, bevor man das Pflaster aufträgt. Dieses wird nach dem Trocknen spröde und die eingelegten Stäbe sichern im Falle des Zerbrechens die Lage der einzelnen Teile. Die Extremitätenknochen von großen Skeletten müssen ebenfalls, so weit wie möglich, zusammengelassen werden. Niemals trenne man die Zehenknochen voneinander, wenn sie sich in natürlicher Lage befinden. In weicherem Gestein umwickelt man jeden Fuß in der eben für kleine Skelette beschriebenen Weise mit Pflaster. Die Gewinnung von Skeletten, die in mehr oder weniger festem Gestein eingebettet sind, bedarf geschickter Steinmetzarbeit, und man trenne die einzelnen Knochen der Skelette nicht mehr als eben nötig ist, wenn die Blöcke auch einige Tonnen Gewicht haben. Hatcher grub in Wyoming eine Gesteinsmasse in einem Gewicht von 3 Tonnen aus, welche einen enormen Schädel vom Triceratops von 8 Fuß Länge enthielt. Außerdem mußte dieser Block 40 Meilen weit auf schlechten Wegen zur Bahn geschafft werden.

Harte Knochen, selbst wenn sie ungünstig zerbrochen sind, sollten niemals weggeworfen oder unverpackt in einer Kiste zusammengeworfen werden, wie bisweilen geschieht. Sie können mit Erfolg gewonnen werden durch eine Methode, die lange Zeit von Prof. Marsh und Hatcher angewendet wurde. Nach der Freilegung der Knochen füllten sie alle großen Hohlräume mit dünnflüssigem Pariser Pflaster, dann bestrichen sie kurze Streifen Leinwand mit dickem Mehlkleister und legten sie über die losen Stücke. Dann legten sie der Länge nach 2—4 Zoll breite Leinwandstreifen

darüber, die übereinander etwas hinweggriffen, und befestigten sie mit Mehlkleister. Nach dem Trocknen untergruben sie den Knochen, drehten ihn um und legten auch auf diese Seite Längsstreifen von Leinwand und umwickelten das Ganze von einem Ende bis zum anderen. Dazu verwendet man reichlich Mehlkleister, der nach dem Trocknen der Leinwand eine große Steifheit verleiht und darum den Knochen stützt. Im Laboratorium kann diese Schicht durch Befeuchten mit einem Schwamm leicht weggenommen werden, sobald die Erhärtung und Befestigung des Knochens Fortschritte gemacht hat.

Verpackung: Wenn die Stücke sehr groß sind, müssen die Kisten aus zwei Lagen Brettern, die quer zueinander stehen, zusammengenagelt werden. Man bringt so viele Stützen im Inneren an, als nötig sind, dem Block eine sichere Lage zu geben, denn wenn er in der Kiste beweglich ist, so kann diese nicht nur zerbrechen, sondern das Exemplar erleidet Gefahr, in nicht wieder gut zu machender Weise beschädigt zu werden. Niemals packe man große und kleine Knochen in dieselbe Kiste, da das Gewicht der großen die kleineren zertrümmern würde."

O. Jaekel hat in einer Vorlesung an der Universität Berlin über eine Reihe von ihm angewendeter Methoden bei der Präparation von Wirbeltieren vorgetragen, von denen ich nach einem auf meine Veranlassung aufgenommenen Stenogramm das folgende wiedergebe: Wenn ein Gesteinsblock, in welchem ein Knochen oder Schädel eingeschlossen ist, so zertrümmert ist, daß man im Bruche den Querschnitt sieht, so tut man gut, die Stücke vorher sorgfältig und fest wieder zusammenzuleimen und die Präparation des Stückes als Ganzes in Angriff zu nehmen. Bei der mechanischen Präparation ist als erste Regel zu beachten, daß alle Schläge auf den Meißel in der Richtung auf das Objekt hin ausgeführt werden. Sobald ein Stück der Oberfläche des Knochens freigelegt ist, muß es sogleich mit einer Gummilösung oder mit Leimwasser getränkt werden, um ein Abspringen der dünnen Lamellen, welche die Oberfläche des Knochens zusammensetzen, zu verhindern. Ist das einschließende Gestein weich, so genügt manchmal die Behandlung mit einer scharfen Bürste. Dabei ist aber große Vorsicht nötig, damit die feine Struktur der Knochenoberfläche, die für die Abgrenzung der Konturen des Knochens von Bedeutung ist, nicht beschädigt oder zerstört wird, damit insbesondere die Ossifikationszentren deutlich erkennbar bleiben.

Ist das Gestein härter als der Knochen, so ist die Präparationsmethode des Abmeißelns des einschließenden Gesteins außerordentlich schwierig und mühevoll und verlangt große Übung. In solchem Falle kommt man bisweilen leichter zum Ziele, wenn man den Knochen entfernt und von dem entstandenen Hohlraume einen Abguß anfertigt. Diese Entfernung der Knochensubstanz kann entweder auf chemischem oder mechanischem Wege erfolgen. Ersterer empfiehlt sich dann, wenn die Knochensubstanz aus Kalk

besteht, während das Einschlußgestein in Salzsäure unlöslich ist, z. B. harter Sandstein. Alsdann kann man die Knochensubstanz vollständig herauslösen. Auch bei in Kohle erhaltenen Skeletteilen empfiehlt sich diese Methode. Für die Herstellung der Abgüsse kommen Gips, Wachs, Guttapercha und eine Mischung von Gelatine und Glyzerin in Frage.

a) Das bequemste für den Abguß ist die Abformung durch Gips, weil Gips ein billiges Material und leicht zu beschaffen ist, und weil sich Gips später nicht verändert. Man kann den Gips aber nur da anwenden, wo er sich gut von dem Objekte abheben läßt, wo eine verhältnismäßig ebene Fläche vorliegt. Wo größere Vertiefungen und erhebliche Unebenheiten vorhanden sind, bricht leicht ein Teil des Gipsabgusses heraus, und man läuft Gefahr, besonders wenn es sich um ein zartes Objekt handelt, daß der Gips fester wird als das Objekt und abreißt.

b) Wachs, und zwar am besten in der von den Goldarbeitern als Modellierwachs bezeichneten Form, zieht sich erheblich besser von dem Objekte ab und verändert sich ebenfalls wenig, aber es hat zwei Nachteile, nämlich: 1. daß es gegen Wärme empfindlich ist und 2., daß es so außerordentlich weich ist, daß es die geringste Berührung nicht ohne Schaden überdauert und auch, daß es nicht elastisch genug ist.

c) Bei sehr rauher Oberfläche des Objektes ist Guttapercha ein ausgezeichnetes Mittel und gibt ein außerordentlich klares Bild. Bei sehr großen Objekten hört die Möglichkeit der Verwendung der Guttapercha auf, weil man nicht in der Lage ist, mit den Händen das Material so schnell einzukneten, daß alles fertig ist, bevor die Guttapercha kalt wird. Ein anderer Nachteil liegt darin, daß die Guttapercha sich aus allzu großen Vertiefungen nicht ohne Verzerrungen herausziehen läßt. Läßt man sie völlig erkalten, so bricht sie, zieht man sie noch etwas weich heraus, so bleiben gewöhnlich die erhabensten Teile hängen. Guttapercha hat auch noch den Nachteil, daß sie sehr spröde wird und sich nicht gut länger als einige Jahre aufbewahren läßt. Nimmt man alsdann einen dünnen Abdruck in die Hand, so zerbricht er.

d) In solchen Fällen empfiehlt sich die von den Anatomen in Anwendung gebrachte Mischung von Gelatine und Glyzerin. Diese beiden Substanzen werden zu gleichen Teilen zusammen gekocht, bis sie vollständig gemischt sind und eine gewisse Zähigkeit erlangt haben. Man gießt diese Mischung auf das Objekt auf und hat nun den Vorteil, 1. daß man beliebig viel Abgüsse machen kann, und 2., daß diese Mischung sich aus allen Vertiefungen gut herausheben läßt. Sie fließt in alle Unebenheiten und Vertiefungen glatt hinein und kann ebenso wieder herausgezogen werden, was bei der Guttapercha nicht der Fall ist.

Die Mischung aus Gelatine und Glyzerin hat den Nachteil, daß sie zusammenschrumpft und zwar in umso höherem Maße, je mehr die Mischung Glyzerin enthalten hat. Dieses ist nötig, um die Gelatine flüssig zu machen,

aber es verdunstet und in demselben Maße schrumpft das Objekt zusammen, und zwar manchmal um $^1/_7$ oder $^1/_6$, ja sogar um $^1/_5$. Vielfach hat dies aber keine besonderen Nachteile, denn ob ein Schädel etwas größer oder kleiner ist, bleibt sich ungefähr gleich. Solche Größendifferenzen liegen im allgemeinen auch innerhalb der Größenverhältnisse der einzelnen Individuen überhaupt.

Kapitel 94.

Regeln für die Behandlung von Altertümern.

Den Geologen bringt sein Beruf häufig in die Lage, Spuren prähistorischer Besiedlung des von ihm untersuchten Gebietes aufzufinden oder die Funde anderer der anthropologischen Wissenschaft zu übermitteln. Wie es bereits bei der geologischen Landesaufnahme Schwedens der Fall ist, sollten alle solche Spuren, Gräber der verschiedenen Art, Verteidigungsbauten (Ringwälle), Wohnstätten, Fabrikationsstätten von Töpferwaren, Metallen oder Steinwerkzeugen, soweit sie der Geologe beobachtet, zu Nutz und Frommen der verwandten Wissenschaft in der Karte angedeutet und in den Kartenberichten wenigstens kurz erwähnt werden. Ich verzichte an dieser Stelle darauf, die Methoden der fachgemäßen Untersuchung solcher Denkmäler der Vorzeit hier genau zu beschreiben und verweise anstatt dessen auf eine kleine Schrift, die auf Veranlassung des Kultusministeriums von der Direktion des Museums für Völkerkunde in Berlin herausgegeben und bei E. S. Mittler & Sohn erschienen ist. Dieselbe trägt den Titel: Merkbuch, Altertümer aufzugraben und aufzubewahren. Ich gebe im folgenden mit freundlicher Genehmigung der Direktion des genannten Museums aus dieser Schrift eine Anzahl kurzgefaßter Regeln zur Konservierung von Altertümern, sowie die Rezepte zu den darin empfohlenen verschiedenen Konservierungsmitteln.

A. Kurzgefaßte Regeln zur Konservierung von Altertümern.

1. Holz

muß vor zu schnellem Trocknen und Zerreißen an der Luft durch Lagerung in Wasser oder Bedecken mit feuchtem Moor, Rasen, Moos geschützt und zum Transport mit einer dicken Schicht von Moos oder Heu umgeben und mit Stroh dicht umwickelt werden.

Konservierung: Tränkung mit einem Gemisch von Petroleum und Anstreicherfirnis (Rezept I) unter möglichster Beibehaltung der das Austrocknen aufhaltenden Hüllen. Kleinere Gegenstände werden, wenn sie in frischfeuchtem Zustande sind, anfangs in 20gradigem, später 16gradigem Spiritus aufbewahrt oder mit der Harzlösung (Rezept II) getränkt oder können auch (aber nicht solche von Eichenholz) in einer starken Alaunlösung gekocht werden.

2. Knochen, Zähne, Hirschhorn, Elfenbein, Korallen

dürfen ebenfalls nur ganz allmählich trocknen. Sehr mürbe Stücke sind in der umgebenden Erde zu belassen und erst nach der Erhärtung der Tränkung herauszuschälen.

Konservierung: Tränkung mit der Harzlösung (Rezept II).

3. Leder und Gewebe

sind ebenfalls nur allmählich zu trocknen.

Konservierung: Bei frischfeuchten Moor- und Pfahlbautenfunden Einlegung in 20gradigen, später in 16gradigen Spiritus, sonst Tränkung mit der Harzlösung (Rezept II); wenn es bereits hart und brüchig ist, mit der Mohnölbenzinmischung (Rezept III).

4. Bronze

ist höchst vorsichtig zu behandeln, da sie oft sehr mürbe und brüchig ist. Auf Spuren von anhaftendem Holz, Haaren und Gewebe ist sorgfältig zu achten, ebenso auf das Vorkommen von Einlagen in Gold, Silber, Knochen, Koralle, Glasfluß (Email), Bernstein.

Reinigung: Durch behutsames Abspülen in lauwarmem Wasser; wenn die Patina fester ist und Abspülen nicht genügt, durch Einlegen in Seifenwasser oder sehr dünne Lösung von reiner Pottasche und nachheriges Abspülen in lauwarmem Wasser oder Bürsten mit ganz weichen Bürsten oder Haarpinseln.

Konservierung: Schön grüne, feste Patina erfordert keine weitere Behandlung. Sehr mürbe und lose aufsitzende Patina wird mit der Harzlösung (Rezept II) getränkt, trübe, aber feste Patina mit der Mohnölbenzinmischung (Rezept III), und dann anfangs mit weicheren, später mit härteren Bürsten gebürstet. Stücke mit kristallinischer Patina (Salzpatina) müssen in temperiertem Wasser, dem chemisch reine Soda (Natrium carbonicum) zugesetzt ist, ausgelaugt, in reinem lauwarmem Wasser abgebürstet und abgespült und nach dem Trocknen mit der Harzlösung getränkt werden. Einzelne später ausblühende Stellen werden mit dünnem Fischleim oder der Schellacklösung (Rezept V) betupft.

5. Gold

ist nur von anhaftenden Verunreinigungen durch Abspülen mit lauwarmem Wasser zu reinigen.

6. Silber

ist sehr vorsichtig zu behandeln, da es häufig sehr mürbe und brüchig ist.

Reinigung wie bei Bronze.

Konservierung: Feste, noch ganz metallische Stücke sind in dünner Ammoniaklösung zu waschen, dann in lauwarmem Wasser abzuspülen und vorsichtig zu erwärmen, um das Ammoniak wieder zu entfernen.

Brüchige Stücke sind nach vorsichtiger Reinigung (Abspülen in lauwarmem Wasser) mit der Harzlösung (Rezept II) zu tränken und zu weiterer Behandlung einem erfahrenen Gold- oder Silberarbeiter (Hofgoldschmied P. Telge, Berlin C., Holzgartenstr. 8 ist zu empfehlen) zu übergeben.

7. Blei und Zinn

sehen knochenähnlich, weißlichgrau aus und sind meist außerordentlich mürbe und zerbrechlich. Sie sind in warmem Wasser abzuspülen und ganz vorsichtig zu trocknen.

Konservierung: Tränkung mit der Harzlösung (Rezept II).

8. Eisen.

Abbröckelnde Eisenteile, wenn es auch nur Rost ist, müssen sorgfältig aufbewahrt und mit Fischleim oder Hausenblase wieder angekittet werden. Vollständig gut erhaltenes Eisen mit schwarzblauem „Edelrost" ist abzuspülen und mit einem die Luft abhaltenden dünnen Überzuge (erwärmtes weißes Wachs oder Paraffin [Rezept IV] in Benzin u. s. w. gelöst) zu versehen.

Gerostetes Eisen muß mit Gaze umhüllt und in abgekochtem, lauwarmem Wasser, dem ein wenig chemisch reine Soda (Natrium carbonicum) zugesetzt ist, ausgelaugt werden, bis das täglich zu erneuernde Wasser keinen braunen Niederschlag mehr gibt. Die Gegenstände werden hierauf getrocknet, 6—8 Tage in absoluten Alkohol gelegt und bei gelinder Wärme wieder allmählich getrocknet. Größere Stücke werden alsdann in einer Mischung von Leinöl oder Firnis und Petroleum zu gleichen Teilen, am besten auf dem Wasserbade, gekocht oder in erwärmtem Zustande wiederholt mit dieser Mischung getränkt. Kleine Gegenstände dagegen werden mit der Harzlösung (Rezept II) getränkt.

Zeigen sich Spuren von Einlagen (Tauschierung) u. s. w., so sind die Gegenstände zunächst nur in reinem Wasser auszulaugen und dann einer bewährten Anstalt zur weiteren Behandlung zuzusenden. (Das Römisch-Germanische Museum zu Mainz ist darauf eingerichtet, für andere Institute solche Arbeiten zu übernehmen.)

Ganz durchrostete Stücke sind, wenn sie nicht zu bröcklig sind, ebenfalls in Gaze zu hüllen, vorsichtig einige Tage erst in Wasser, später in Alkohol auszulaugen und dann allmählich zu trocknen. Die etwa abgebrochenen Teile werden darauf mit Hausenblase oder Fischleim angekittet und die Gegenstände schließlich ebenfalls mit Leinölfirnis und Petroleum oder

besser noch mit einer Lösung von gebleichtem Schellack in Alkohol, dem ein ganz geringes Quantum von Rizinusöl zugesetzt ist (Rezept V), getränkt.

Drohen dergleichen Stücke schon gleich nach der Auffindung zu zerfallen, so tränke man sie sogleich mit obiger Schellacklösung (Rezept V), hülle sie in Gaze und bewahre sie an einem warmen trockenen Orte auf. Die Tränkung ist dann mehrfach zu wiederholen, auch noch nach längerer Zeit.

9. Tongegenstände

werden vorsichtig getrocknet, bis der Ton wieder fest ist, dann mit weichen Stielbürsten abgebürstet, mit reinem Wasser mittels eines Schwammes abgespült, wieder getrocknet und abgebürstet. Dabei wird aber sorgfältig auf etwa vorhandene Bemalung geachtet, damit durch das Abbürsten nicht die etwa zum Vorschein kommenden Erdfarben mit abgebürstet werden.

Zum Kitten bedient man sich des Fischleims, am besten des amerikanischen, oder des kaltflüssigen Leims (Rezept VI); zum Ergänzen und Ausfüllen der Fugen der Steinpappe (Rezept VII).

Konservierung: Sehr mürbe Stücke werden mit Belmontylöl getränkt oder in Ermanglung dessen mit der Harzlösung (Rezept II). Die Glättung wird durch Tränkung der Oberfläche mit Mohnölbenzinlösung (Rezept III) und Bürsten nach dem Trocknen wieder hervorgerufen, ebenso die farbigen Verzierungen.

10. Glas.

Farbiges Glas wird in lauwarmem Wasser vorsichtig abgespült.

Konservierung: Tränkung mit Mohnölbenzinlösung (Rezept III), bei starker Verwitterung mit der Harzlösung (Rezept II). Zum Kitten wird Fischleim oder Hausenblase angewendet.

Weißes Glas mit irisierender Schicht erfährt, wenn nicht schon gänzlicher Zerfall droht, jetzt gewöhnlich keine Behandlung.

11. Bernstein

wird wie Glas behandelt.

B. Rezepte.

I. Firnispetroleummischung.

Bester Anstreicherfirnis, bestes gereinigtes Petroleum zu gleichen Teilen zu mischen.

II. Harzlösung.

15 g Dammarharz werden in 130 g reinsten Benzins gelöst, dieser Lösung ein Gemenge von 20 g gebleichten Mohnöls und 150 g Terpentinspiritus bester Qualität hinzugesetzt. Letzteres Gemenge ist als solches (nicht die

Substanzen einzeln) der Lösung hinzuzusetzen. Bei längerem Stehen wird die Lösung dick, sie muß dann zum Gebrauch wieder mit Benzin, dem etwas Terpentinspiritus zugesetzt ist, genügend verdünnt werden.

III. Mohnölbenzinmischung.

20 g gebleichten Mohnöls werden mit 270 g besten gereinigten Benzins gemischt.

IV. Eisensalben.

a) Weißes Wachs wird in Benzin oder Terpentinspiritus gelöst, oder
b) Paraffin wird in Benzin oder Terpentinspiritus gelöst, oder
c) Virginiavaselin, oder
d) Belmontylöl (zu haben bei L. Polborn, Berlin S., Luisenufer 2), oder
e) Cerotin.

V. Schellacklösung.

Gebleichter Schellack wird in einer reichlichen Menge Alkohol gelöst und der recht dünnflüssigen Lösung ein ganz geringes Quantum (einige Tropfen) Rizinusöl zugesetzt.

VI. Kaltflüssiger Leim, für Knochen und Tongegenstände als Notbehelf für Fischleim zu verwenden.

In eine dünnflüssige warme Lösung Kölnerleim wird etwa das Doppelte ihres Volumens arabisches Gummi eingerührt, bis die Masse die Konsistenz des Honigs hat, und dann ein wenig Glyzerin zugesetzt.

VII. Steinpappe.

500 g Kölnerleim werden ziemlich dick eingekocht, hierin 3 Bogen starkes weißes Fließpapier oder 4 Bogen weißes Seidenpapier, das vorher in möglichst kleine Stücke zerzupft wird, zerrührt, bis das Ganze einen gleichmäßigen Brei bildet. Man kocht denselben dann gut durch, fügt unter stetem Umrühren und Kneten mittels eines dicken Stabes $2^1/_2$ kg recht fein gesiebte, trockene Schlämmkreide und, nachdem dies Gemisch tüchtig durchgearbeitet ist, 120 g Leinöl hinzu, welches ebenfalls durch tüchtiges Kneten wieder gleichmäßig verteilt werden muß. Um das Faulen des Leims aufzuhalten, setzt man dem Gemisch zuletzt noch 50 g venezianischen Terpentin zu, doch ist dies nicht gerade durchaus erforderlich; tüchtiges, gleichmäßiges Durchkneten der Masse ist die Hauptsache.

Alphabetisches Sachregister.

B.

G.

H.

I.

J.

K.

L.

T.

W.

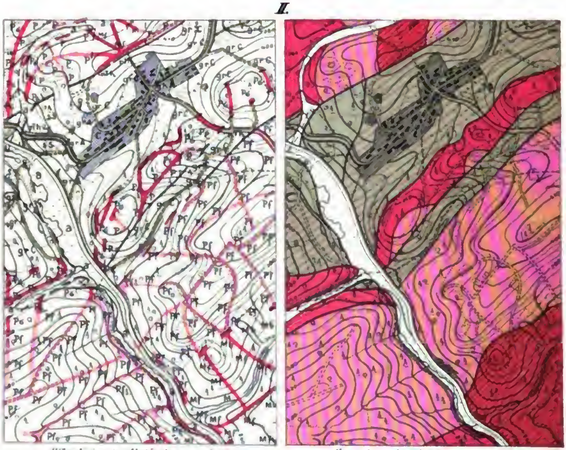
Z.

I.



Höhenlinien in Abständen von 50 Preuss. Dec. Fuss — *Höhenlinien in Abständen von 50 Preuss. Dec. Fuss*

II.



Höhenlinien in Abständen von 5 Meter. — *Höhenlinien in Abständen von 5 Meter.*

Zeichenerklärung.

cb = *Kambrischer Quarzphyllit.*

K = *Kersantit.*

Po = *Orthoklasporphyr.*

Pg = *Glimmerporphyrit.*

a = *Alluvium.*

Farbenerklärung.

Cambrium.

cb — *Quarzphyllit.*

Gänge von Rotliegendem Alter.

Po — *Orthoklasporphyr.*

Pg — *Glimmerporphyrit.*

K — *Kersantit.*

Alluvium.

a — *Ebener Talboden der Gewässer.*

Zeichenerklärung.

Mf = *Melaphyr mit Feldspat.*

Mb = *Melaphyr mit Bastit.*

Pf = *Porphyrit mit viel Feldspat.*

P = *Porphyrit ohne Feldspat.*

Pb = *Basischer Porphyrit.*

rTh = *Roter Ton.*

gr C = *Graues Konglomerat.*

gr A = *Graue Arkose.*

C = *Konglomerat.*

gr St = *Grauer Schieferton.*

sS = *Schwarzer Schiefer.*

a = *Alluvium.*

/ = *Verwerfungen.*

∠ = *Zeichen für Streichen u. Fallen.*

Farbenerklärung.

Ergußgesteine.

Pb — *Basischer Porphyrit.*

P - Pf — *Saurer Porphyrit.*

Basaltischer Melaphyr.

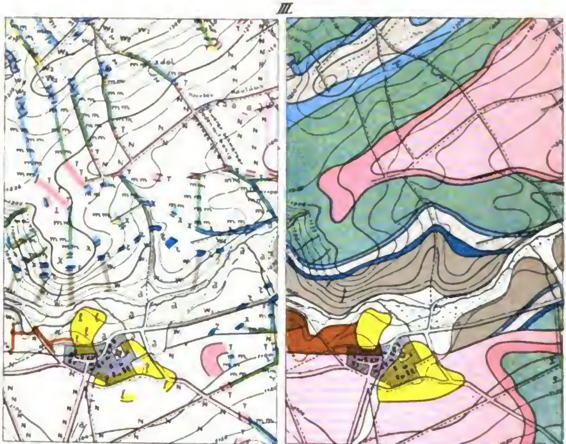
Sedimentärgesteine.

rm_1 — *Schwarze Schiefertone und graue Arkosen (Lebacher Schichten.)*

rm_2 — *Graue Arkosen, Konglomerate und Schiefertone (Tholeyer Schichten).*

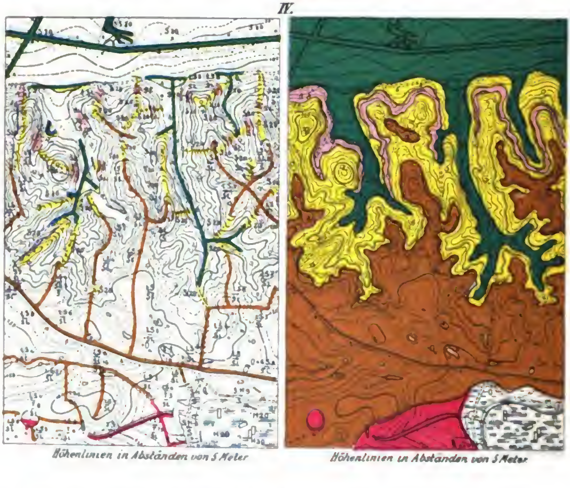
a — *Alluvium.*

III.



Höhenlinien in Abständen von 25 Preuss Dec Fuss — *Höhenlinien in Abständen von 25 Preuss. Dec Fuss*

IV.



Höhenlinien in Abständen von 5 Meter — *Höhenlinien in Abständen von 5 Meter*

Zeichenerklärung.

R	= *Röt.*
W_1	= *Unterer Wellenkalk.*
τ	= *Terebratelkalk.*
W_2	= *Oberer Wellenkalk.*
x	= *Schaumkalk.*
mm	= *Mittlerer Muschelkalk.*
zdol	= *Zellendolomit.*
T	= *Trochitenkalk* } *des Oberen Muschelkalkes.*
N	= *Nodosenschichten* } *des Oberen Muschelkalkes.*
l	= *Lehm.*
a	= *Alluvium.*
/	= *Verwerfung.*
6	= *Vorkommen v. Versteinerungen. Schneckenreichtum i. Alluvium.*
∢	= *Zeichen für Streichen u. Fallen.*

Farbenerklärung.

Trias.

	Röt.
mu_1	*Unterer Wellenkalk.*
	Bänke mit Terebratula vulgaris.
mu_2	*Oberer Wellenkalk.*
x	*Schaumkalkbänke.*
	Mittlerer Muschelkalk.
mo_1	*Oberer Muschelkalk. Trochitenkalk.*
mo_2	*Oberer Muschelkalk. Schichten mit Ceratites nodosus.*

Diluvium.

d	*Lehm.*

Alluvium.

a	*Ebener Talboden der Gewässer.*

S	= *Sand.*
LS	= *Lehmiger Sand.*
SL	= *Sandiger Lehm.*
SM	= *Sandiger Mergel.*
L	= *Lehm.*
TS	= *Toniger Sand.*
T	= *Ton.*
H	= *Humus (Torf).*
SH	= *Sandiger Humus (Moorerde).*
∴	*Vorkommen kleiner Steine im Talsande.*
-	*Moorerde.*
=	*Torf.*

Diluvium.

	Talsand.
∂h	*Oberer Ton (Deckton).*
	Oberer Geschiebemergel.
ds	*Unterer Sand.*
dm	*Unterer Geschiebemergel.*

Alluvium.

ak	*Moorerde.*
at	*Torf.*

Verlag von Ferdinand Enke in Stuttgart.

Sammlung chemischer und chemisch-technischer Vorträge.

und Dr. B. M. Margosches. Mit 14 Abbildungen. — 5/6: Ueber anorganische Kolloïde. Von Prof. Dr. Alfred Lottermoser. — 7/8: Das Chromylchlorid und die Etardsche Reaktion. Von Prof. Dr. Georg Rohde. — 9/11: Die Chemie des Thoriums. Von Dr. J. Koppel. — 12: Ueber feste Lösungen. Von Dr. Giuseppe Bruni. Mit 4 Abbildungen.

Siebenter Band. 1902. 1: Ueber radioaktive Substanzen und deren Strahlen. Von Prof. Dr. F. Giesel. Mit 4 Abbildungen. — 2/4: Die Preisbewegung von Chemikalien seit dem Jahre 1861. Von Dr. Karl Grauer. — 5: Chemische Affinität und Energieprinzip. Von Dr. Jos. Siegrist. — 6: Die Entwickelungsgeschichte der künstlichen organischen Farbstoffe. Von Prof. Dr. R. Nietzki. — 7/8: Ueber den gegenwärtigen Stand der Valenzlehre. Von Dr. F. Willy Hinrichsen. — 9/10: Ueber den Einfluss der Kernsubstitution auf die Reaktionsfähigkeit aromatischer Verbindungen. Von Prof. Dr. Julius Schmidt. — 11: Zur Verwertung, spez. der Wiedergewinnung des Zinns von Weissblechabfällen. Von Dr. Hans Mennicke. — 12: Das Gärungsproblem. Von Prof. Dr. Felix B. Ahrens.

Achter Band. 1903. 1/2: Die Diazoverbindungen. Von Prof. Dr. A. Hantzsch. — 3/4: Ueber die Laktone. Von Prof. Dr. Edv. Hjelt. — 5/7: Die Theorie der elektrolytischen Dissociation. Von Prof. Dr. R. Abegg. — 8: Der gegenwärtige Stand der Schwefelsäureindustrie. Von Dr. Gustav Rauter. — 9: Die Santoningruppe. Von Prof. Dr. E. Wedekind. — 10: Chemische Verwandtschaftslehre. (Die Lehre von den Gleichgewichten in homogenen und heterogenen Systemen und von der Reaktionsgeschwindigkeit.) Von Prof. Dr. W. Herz. — 11: Die Nitrosoverbindungen. Von Prof. Dr. Julius Schmidt. — 12: Ueber Racemie. Von Prof. Dr. A. Ladenburg. Mit 1 Abbildung. Von den Hydraten in wässeriger Lösung. Von Prof. Dr. Emil Baur. Mit 6 Abbildungen.

Neunter Band. 1904. 1/2: Die Lichtabsorption in Lösungen vom Standpunkt der Dissociationstheorie. Von Dr. George Rudorf, B. Sc. Mit 1 Abbildung. — 3/5: Das Vanadin und seine Verbindungen. Von Dr. Fritz Ephraim. Mit 1 Abbildung. — 6/7: Das Deutsche Patentgesetz und die Vorschläge des Deutschen Vereins für den Schutz des gewerblichen Eigentums. Von Dr. Gustav Rauter. — 8: Ueber den Zusammenhang zwischen Farbe und Konstitution bei chemischen Verbindungen. Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann. — 9/10: Der Stickstoff der Steinkohle. Von Dr. W. Bertelsmann. — 11/12: Beiträge zur Theorie des Generator- (oder Luft-) und des Wassergases. Von Prof. H. Freiherr von Jüptner. Mit 11 Abbildungen.

Zehnter Band. 1905. 1/2: Die Anomalie der starken Elektrolyte. Von Dr. K. Drucker. — 3/4: Die organischen Magnesiumverbindungen und ihre Anwendung zu Synthesen. Von Prof. Dr. Julius Schmidt. — 5/6: Die Chemie auf der Weltausstellung zu St. Louis 1904. Von Dr. Walter Vieweg. — 7/9: Der Tetrachlorkohlenstoff unter besonderer Berücksichtigung seiner Verwendung als Lösungs- bezw. Extraktionsmittel in der Industrie der Fette und verwandter Gebiete. Von Dr. B. M. Margosches. — 10: Die Phasentheorie und ihre Anwendung. Von Dr. Julius Meyer. Mit 23 Abbildungen. — 11/12: Die Verwendung von Chemikalien als Heilmittel. Von Dr. Paul Cohn.

Elfter Band. 1906. 1/2: Die Beziehungen zwischen Fluoreszenz und chemischer Konstitution. Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann. Mit 1 Kurve. — 3: Die Lehre von der Reaktionsbeschleunigung durch Fremdstoffe (Katalyse). Von Prof. Dr. W. Herz. — 4: Der Auerstrumpf. Von Dr. H. W. Fischer, Breslau. Mit 7 Abbildungen. — 5: Beiträge zur Theorie der Eisenhüttenprozesse. Ein Versuch zur Einführung der physikalisch-chemischen Anschauungen in die Technik. Von Prof. H. Freiherr v. Jüptner. Mit 6 Abbildungen. — 6/7: Die Kennzeichnung (Deklaration) der Nahrungs- und Genussmittel. Von Dr. H. Rühle. — 8/9: Allgemeine Chemie der Eiweissstoffe. Von Prof. Dr. Fr. N. Schulz. — 10/11: Ueber Chinone und chinoide Verbindungen. Von Prof. Dr. Julius Schmidt. — 12: Die optisch-aktiven Verbindungen des Schwefels, Selens, Zinns, Siliziums und Stickstoffs. Von Prof. Dr. M. Scholtz. Mit 1 Abbildung.

Zwölfter Band. 1907. 1/3: Die Auxochrome. Von Prof. Dr. Hugo Kauffmann. — 4/6: Neuere Färbetheorien. Von Prof. Dr. C. G. Schwalbe. — 7/8: Die Entwicklung der Leuchtgaserzeugung seit 1890. Von Dr. W. Bertelsmann. Mit 38 Abbildungen. — 9/10: Kristallinisch-flüssige Substanzen. Von Prof. Dr. D. Vorländer. Mit 28 Abbildungen. — 11: Elektrochemie der nichtwäßrigen Lösungen. Von Prof. Dr. G. Carrara. Uebersetzt von Prof. Dr. Kurt Arndt. — 12: Berzelius — Liebig — Dumas. Ihre Stellung zur Radikaltheorie 1832—1840. Von Prof. Dr. Edv. Hjelt, Senator, Helsingfors. Mit 1 Abbildung.